

QUEM-report
Schriften zur beruflichen Weiterbildung
Heft 95/Teil I

Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung

John Erpenbeck
Andrea Scharnhorst und Werner Ebeling
Dörte Martens und Christof Nachtigall
Klaus North, Peter Friedrich und Annika Lantz

Berlin 2006

GEFÖRDERT DURCH



Impressum

Die Veröffentlichungen „Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung“, Teil I und Teil II, entstanden im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms „Lernkultur Kompetenzentwicklung“. Das Programm wird gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds.

Die Autoren tragen die Verantwortung für den Inhalt.

Autoren: Prof. Dr. Gustav Bergmann, Jürgen Daub,
Prof. Dr. Werner Ebeling, Prof. Dr. John Erpenbeck,
Dr. Peter Friedrich, Dr. Annika Lantz, Dörte Martens,
Gerd Meurer, Dr. Christof Nachtigall, Prof. Dr. Klaus North,
Dr. Andrea Scharnhorst

QUEM-report, Heft 95/Teil I

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungs-
forschung e. V./Projekt Qualifikations-Entwicklungs-
Management
Storkower Straße 158, 10407 Berlin

Manuskriptdruck, April 2006

Herstellung: ESM Satz und Grafik GmbH, 12459 Berlin

Die Reihe QUEM-report wird kostenlos abgegeben.

ISSN: 0944-4092

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen, Nachdruck und andere Nutzung nur mit Zustimmung des Herausgebers.

Teil I

Inhaltsverzeichnis	Seite
<i>John Erpenbeck</i> Metakompetenzen und Selbstorganisation	5
<i>Andrea Scharnhorst und Werner Ebeling</i> Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung in Evolutions- und Selbstorganisationsmodellen Die unumgänglichen theoretischen Voraussetzungen	15
<i>Dörte Martens und Christof Nachtigall</i> Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung in interkulturellen Lerngruppen Selbstorganisationsmodelle für die Erklärung komplexer Gruppenphänomene	115
<i>Klaus North, Peter Friedrich und Annika Lantz</i> Selbstorganisation als Metakompetenz	137

Metakompetenzen und Selbstorganisation

John Erpenbeck

Selten kann man den Beginn von Forschungsüberlegungen so genau kennzeichnen wie im Fall der hier vorliegenden Arbeiten. Sie sind durch Ergebnisse einer großen, repräsentativen Studie „zum Lernbewusstsein und -verhalten der deutschen Bevölkerung“ angestoßen worden (später veröffentlicht in: Baethge/Baethge-Kinsky 2004).

Dabei meint Beginn keineswegs Neuanfang. Vielmehr hatten alle Autoren auf unterschiedliche Weise bereits am großen Vorhaben mitgewirkt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiierte und inspirierte große Programm „Lernkultur Kompetenzentwicklung“ mit Leben zu erfüllen und zu dem unbestreitbaren Erfolg zu führen, der sich bereits heute abzeichnet (dokumentiert u. a. in den von der ABWF/QUEM herausgegebenen Reihen „Kompetenzentwicklung“, „edition QUEM“ und „QUEM-report“). Aber sie alle spürten auch, dass ein entscheidender Teil des Fundaments fehlte, um die theoretisch zu erforschende und praktisch zu nutzende „Kompetenzarchitektur“ (Erpenbeck 2004) zu vollenden. Da gab es – je nach Bezeichnungsweise – Grund-, Basis- oder Schlüsselkompetenzen (key competences) wie etwa die personalen, aktivitätsbezogenen, fachlich-methodischen und sozial-kommunikativen Kompetenzen, da gab es eine Fülle von differenziert beschriebenen abgeleiteten Teil- oder Einzelkompetenzen, da gab es „querliegende“ Kompetenzen wie interkulturelle, Medien-, Human-, Führungskompetenzen und andere, die unterschiedlich bemessene Anteile aller Grundkompetenzen und vieler Teilkompetenzen enthielten.

Und doch deckten alle diese Kompetenzbegriffe nicht die simple Erfahrung, die jeder im Arbeitsleben Stehende schon gemacht hat: Zwei Personen bewerben sich um die Durchführung eines Projekts, beide gleichen Geschlechts, gleichen Alters und etwa gleichen Erfahrungshorizonts, beide mit gleich hervorragenden Abschlussnoten und Zertifikaten – und doch hat man nach ein, zwei Stunden intensiven Gesprächs das sichere Gefühl, der eine packt's, der andere wird's nie packen. Wohlgermerkt als Gesamteindruck. Da geht es nicht gesondert um Fachkenntnisse, nicht um personale oder soziale Fähigkeiten, nicht um Aktivität und Willensstärke – es geht um generalisierte Fähigkeiten, sich in einer komplexen, ergebnisoffenen Arbeits- und Problemlösungssituation zu behaupten, kreativ eigene Wege und „self directed“ eigene Ziele unter Aktivierung aller Dispositionen zu finden, die ein solches selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Handeln ermöglichen.

Die Übersetzung des englischen Terminus „self directed“ durch „selbstgesteuert“ ist übrigens ganz offensichtlich falsch. Wer selbst steuert, braucht ein vorgegebenes Ziel, das er ansteuert – auf welchen selbst gewählten Wegen auch immer. „Self directed“ ist Lernen und Handeln aber immer dann, wenn die Zielvorgaben im Lern- und Handlungsprozess selbst, möglicherweise auch immer wieder neu, erarbeitet werden. Das aber ist ein selbstorganisierter Prozess par excellence (vgl. Straka 2000). Historisch gesehen ist Selbststeuerung ein Terminus der Kybernetik

I, Selbstorganisation ein Terminus der Kybernetik II. Auch Baethge und Baethge-Kinsky (2004) benutzen den Begriff Selbststeuerungsdisposition klar als Synonym für Selbstorganisationsdisposition.

In Analogie zu den breit erforschten Metakognitionen, dem „Wissen über eigenes Wissen“, kann man von Metakompetenzen sprechen, also von Ausgangsdispositionen, welche die Herausbildung von grundlegenden und abgeleiteten Selbstorganisationsdispositionen, den Kompetenzen, erst fundieren und ermöglichen. Es handelt sich um Selbstorganisationsdispositionen 2. Ordnung, um Bedingungen der Möglichkeit unserer Selbstorganisation. Sie umfassen z. B. (nach Bergmann/Daub/Meurer 2003):

- Selbsterkenntnisvermögen (Bewusstsein eigener Leitmotive, Reflexionsfähigkeit eigener Biografie),
- Selbstdistanz, Selbstrelativierung (Selbstironie, Neutralität, Einsicht in Selbstbezug, Wertgefüge),
- Empathie (Mitgefühl, Einfühlungsvermögen, Interesse an anderen),
- Situationsidentifikation, Kontextualismus (historische Selbsteinordnung, Altersadäquanz, keinen Absolutheitsanspruch, Abwägen von Nutzen und Aufwand),
- Interventionsfähigkeit, Lösungsfähigkeit (Situationsidentifikation, Interventionsidentifikation).

In diese latente Überlegungslage fiel die erste Bekanntmachung der bereits erwähnten Arbeitsergebnisse einer Gruppe um Baethge, die sich mit den Kontextbedingungen für lebenslanges, lebensweites Lernen beschäftigte (Baethge/Baethge-Kinsky 2003). Sie sind inzwischen umfassend publiziert (Baethge/Baethge-Kinsky 2004). Zwei Ergebnisse traten dabei, die eben angedeutete Fragestellung empirisch analysierend, besonders hervor:

- Zum einen wurde das Ausbildungsniveau (ohne qualifizierten Ausbildungsabschluss – qualifizierter Ausbildungsabschluss – Meister, Techniker u. ä. Abschluss – [Fach-]Hochschulabschluss) dem wichtigsten Lernkontext (formell – medial – informell [arbeitsbegleitend und privat]) gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass Personen ohne qualifizierten Abschluss etwas mehr (80 Prozent), Personen mit Hochschulabschluss etwas weniger (51 Prozent) informell lernen. Das ist aus dem steten Eingebundensein der Letzteren in formelle Lern- und Weiterlernprozesse mühelos erklärbar. Die Frage formelles versus informelles Lernens bildet aber keinesfalls eine Scheidelinie des Lernhandelns (Baethge/Baethge-Kinsky 2004, S. 71).
- Ganz anders, wenn man das Ausbildungsniveau einer generalisierten Selbststeuerungs-/Selbstorganisationsdisposition gegenüberstellt. Diese zeigte sich nur bei 30 Prozent der Personen ohne qualifizierten Ausbildungsab-

schluss stark, bei 70 Prozent hingegen schwach ausgeprägt, während sie sich bei Personen mit (Fach-)Hochschulabschluss zu 79 Prozent stark und nur zu 21 Prozent schwach ausgeprägt darstellte. Die somit erfragte Selbstorganisationsdisposition bildet also eine Art Maß des Kompetenzniveaus. Es lag nahe, die damit systematisch und bei einer Befragtenanzahl von n=3025 gut belegte Selbstorganisationsdisposition als Metakompetenz zu interpretieren.

Ein solcher Gedanke fiel vor allem bei zwei Forschern auf fruchtbaren Boden, die sich schon lange, wenn auch zum Teil in anderer Terminologie, mit Metakompetenzen beschäftigten. Metakompetenz (Singular) bezeichnet hier die Existenz einer den Basis-, Einzel- und „querliegenden“ Kompetenzen zugrunde liegenden generalisierten Selbstorganisationsdisposition. Diese ist wiederum analytisch in Teildispositionen, in Metakompetenzen (Plural) gliederbar. North bezog, indem er wissensorientierte Unternehmensführung untersuchte und eine „Wissenstreppe“ des Aufstiegs zur Wettbewerbsfähigkeit entwarf, Kompetenzen als Kernmoment des strategischen Wissensmanagements mit ein (North 1998, insbesondere S. 41). Auch setzte er sich bereits mit Selbstorganisationskompetenz auseinander (North/Friedrich/Lantz 2005). Diese Gedanken konnte er bruchlos weiterführen. Bergmann hatte mit seinem konstruktivistisch inspirierten „Lern- und Lösungszyklus“ als Grundmodell problemlösenden Lernens nicht nur Problemlösungsprozesse in vitalen Unternehmen beschrieben (Bergmann 2001), sondern auch generalisierte Dispositionen derjenigen umrissen, die daran teilhaben (Bergmann/Daub/Meurer 2003).

Zweifellos hatte und hat der Konstruktivismus als eine spezifisch geistes- und sozialwissenschaftlich orientierte Selbstorganisationstheorie große Verdienste, wenn es um die Betonung der Autonomie und Eigenaktivität des Subjekts, insbesondere, wenn es um die Abkehr von instruktivistischen und die Einführung von selbstorganisierten Lernprozessen geht. Ohne die frühen konstruktivistisch-pädagogischen Ansätze von Arnold und Siebert, ohne die konstruktiv kompetenzbasierten Schulreformmethoden von Klippert (Klippert/Clemens/Grentrup 2001) beispielsweise wäre die deutsche Kompetenzforschung nicht dort, wo sie heute in Europa steht: ziemlich weit vorn. Die unter anderem viele Ergebnisse der ABWF/QUEM-Grundlagenforschung einbeziehende Schrift von Schmidt „Lernen, Wissen, Kompetenz, Kultur – Vorschläge zur Bestimmung von vier Unbekannten“ fasst aus konstruktivistischer Sicht den heutigen Wissensstand in einem grundlegend neuen Entwurf zusammen (Schmidt 2005).

Allerdings hat der Konstruktivismus, wie jede aussagekräftige Theorie, Beschreibungsgrenzen. Das wird besonders klar, wenn man ihn mit anderen ausgereiften Selbstorganisationstheorien vergleicht. In der hier vorliegenden Schrift wird dafür auf die Synergetik Hakens und vergleichbare Ansätze zurückgegriffen. Diese aus der Physik hervorgewachsene, aber keineswegs physikalische Strukturtheorie hat

sich inzwischen auch für geistes- und sozialwissenschaftliche Fragestellungen als breit einsetzbar erwiesen. Haken selbst ging hier die ersten Schritte, andere folgten (Haken 1996, Scharnhorst 2000, Weidlich 1999, Scharnhorst 1999, Scharnhorst/Erpenbeck 2005).

Vor allem an zwei die Problematik der Metakompetenzen berührenden Punkten ermöglicht die Synergetik gegenüber dem Konstruktivismus ein tiefer lotendes Verständnis:

- Da ist, zum einen, die Entstehung und Durchsetzung von sozialen „Ordner“ des Handelns: von Regeln, Werten und Normen. Hakens – mathematisch recht aufwändige – Darstellung zeigt, wie diese Ordner im Handeln von Gruppen und komplexeren sozialen Gebilden gleichsam zwangsläufig entstehen und wie sie, um wirksam zu werden und zu bleiben, von den einzelnen Handelnden zu eigenen Emotionen und Motivationen umgewandelt, „interiorisiert“ werden müssen, um das Handeln der Einzelnen zu konsensualisieren, zuweilen auch zu „versklaven“, wie es Haken drastisch formuliert. Regeln, Werte und Normen bilden jedoch den Kern aller Kompetenzen (sonst wären diese auf Fertigkeiten und Wissen im engeren Sinne reduzierbar) – also auch der Metakompetenzen, wie die bereits genannten erweisen. In einer bedeutsamen Arbeit über „Selbstorganisation und Gewalt“ hat Nachtigall gezeigt, wie klar die Herausbildung von – negativen – Werthaltungen und die Entwicklung – negativ – eingesetzter Kompetenzen von randalierenden, fremdenfeindlichen, gewaltbereiten Jugendlichen mit Hilfe der Synergetik zu modellieren ist (Nachtigall 1998). Am positiven Beispiel werden solche Modellierungen im vorliegenden Band gemeinsam mit Martens fortgeführt.
- Da ist, zum anderen, die mit der Synergetik und verwandten Denkweisen gegebene Möglichkeit, Kompetenzen als Selbstorganisationsdispositionen mathematisch-strukturell modellieren zu können. Dazu hat Scharnhorst bereits wichtige Arbeiten vorgelegt (Scharnhorst 1999) Ihre zusammen mit Ebeling (Ebeling u. a. 1999) entwickelten Modelle von Kompetenzdynamik, eingeschlossen auch Facetten generalisierter Selbstorganisationsdispositionen, bieten einen weiteren, eigenständigen Zugang zu Metakompetenzen an.

Ausgehend von solchen grundlegenden, einen kleinen Beschreibungskreis intensiv ausleuchtenden Überlegungen bewegen sich die vier Texte dieses Bands zu immer umfassenderen, komplexeren Sichten auf Metakompetenzen und Selbstorganisation hin.

1. Im ersten Beitrag eröffnen Scharnhorst und Ebeling eine fundamentale Sicht auf Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung in Evolutions- und Selbst-

organisationsmodellen. Die so erschlossenen theoretischen Einsichten werden erfolgversprechend auf komplexe Gruppenphänomene angewandt, insbesondere auf interkulturelle Lerngruppen.

2. Selten genug werden in Sozialwissenschaften analoge Phänomene mit vergleichbaren theoretischen Ansätzen zu analysieren versucht. Genau das geschieht in der Arbeit von Marten und Nachtigall, die eine von Letzterem entwickelte synergetische Theorie der Normendynamik einsetzt, um gleichfalls Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung in interkulturellen Lerngruppen zu analysieren. Vergleicht man die Ergebnisse, wird einerseits sofort klar, dass vergleichbare Theorien und vergleichbare Gegenstandsbereiche keineswegs zu austauschbaren Ergebnissen führen. Andererseits zeigen beide aber, dass sich der Apparat der Synergetik oder verwandter Selbstorganisationsmodelle hervorragend für die Erklärung komplexer Gruppenphänomene eignet.
3. North, Friedrich und Lantz fassen Selbstorganisation zunächst als Metaroutine. Aus den von ihnen durchgeführten drei Studienschritten wird aber schnell klar, dass es sich um nichts weniger als „Routinen“ im Sinne des herkömmlichen Begriffs handelt. Versteht man Routine gewöhnlich als eine durch Nachahmung, Wiederholung und Aneignung gelernte und verfestigte Verhaltensweise, die in wiederkehrenden Situationen fast automatisch-reflexartig und nahezu instinktiv abläuft, wird hier nach Reflexion über die eigene Arbeit (Interventionsfähigkeit, Lösungsfähigkeit), Zieleinschätzung (Situationsidentifikation), Vertrauen und Klima (Empathie), Ressourcen (Kontextualismus), eigenen Voraussetzungen (Selbsterkenntnisvermögen), organisatorischer Arbeitsverteilung und Selbstwirksamkeitswahrnehmung (Selbstrelativierung) gefragt – alles bereits als Metakompetenzen gekennzeichnete Selbstorganisationsdispositionen 2. Ordnung. Diese mit den Ergebnissen von Bergmann und Mitarbeitern parallel laufende Begrifflichkeitsentwicklung ist allerdings nur ein erster Schritt. Für das Anliegen des hier vorgelegten QUEM-reports ist maßgeblich, dass in den drei Praxisstudien gezeigt wird, wie das Metakompetenz-Konzept operational umsetzbar und wie gut es in der Unternehmensrealität einsetzbar ist.
4. Der im zweiten Heft publizierte Beitrag von Bergmann, Daub und Meurer wagt schließlich auf neue, originelle Weise den Brückenschlag zwischen:
 - den unterschiedlichen theoretischen und methodischen Grundlagen und empirischen Ergebnissen moderner Kompetenzforschung (Kapitel 1),
 - dem Versuch, die Kompetenzarchitektur zu differenzieren, zu dynamisieren und die Relationen der „Bestandteile“, wie sie sich in Prozessen der Kompetenzentwicklung offenbaren, messend zu verstehen (Kapitel 2) sowie
 - dem Fazit, Kompetenzentwicklungsprozesse im Kontext von sich selbst organisierenden sozialen Systemen zu betrachten (Kapitel 3).

Letzteres führt auf die unumgängliche, gleichsam systemimmanente Notwendigkeit, eine Kompetenzentwicklungskompetenz im Sinne eines generalisierten Levels der Selbstorganisation einzuführen. Die Ausweitung des Denkkreises von der Kompetenz zur Metakompetenz erweist sich damit als gewichtiges Forschungsergebnis und wichtiges, in die Zukunft weisendes Forschungsprogramm.

Literatur

Baethge, M.; Baethge-Kinsky, V.: Der ungleiche Kampf um das lebenslange Lernen: Eine Repräsentativ-Studie zum Lernbewusstsein und -verhalten der deutschen Bevölkerung. In: Baethge, M.; Baethge-Kinsky, V.: Der ungleiche Kampf um das lebenslange Lernen. edition QUEM, Band 16. Münster, New York, München, Berlin 2004, S. 11-200

Baethge, M.; Baethge-Kinsky, V.: Kompetenzen für lebenslanges Lernen. Lernstrukturelle, biografische und soziale Kontextbedingungen. Erste Ergebnisse einer Repräsentativerhebung in der deutschsprachigen Bevölkerung. Unveröffentlichtes Vortragmaterial ABWF 2003

Bergmann, G.: Die Kunst des Gelingens. Wege zum vitalen Unternehmen. Ein Lernbuch. Sternenfels 2001

Bergmann, G.; Daub, J.; Meurer, G.: Relationale Kompetenz: Kompetenz – Kompetenzentwicklung – Metakompetenz, Forschungszwischenbericht 1-3, KOS Projekt. Berlin, Köln, Siegen 2003

Ebeling, W.; Scharnhorst, A.; Jiménez Montano, A.; Karmeshu, M: Evolutions- und Innovationsdynamik als Suchprozeß in komplexen adaptiven Landschaften. In: Mainzer, K.: Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Berlin 1999, S. 446-473

Erpenbeck, J.: Gedanken nach Innsbruck. Kompetenz – Kompetenzentwicklung – Kompetenzbilanz. In: QUEM-Bulletin 6/2004, S. 1-7

Haken, H.: Synergetik und Sozialwissenschaften. In: Ethik und Sozialwissenschaften 7, 1996, Heft 4, S. 590 ff.

Klippert, H.; Clemens, E.; Grentrup, S.: Eigenverantwortliches Arbeiten und Lernen. Weinheim, Basel 2001

Nachtigall, Ch.: Selbstorganisation und Gewalt. Münster, New York, München, Berlin 1998

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. Wiesbaden 1998

North, K.; Friedrich, P., Lantz, A.: Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation. In: Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V./Projekt

Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzmessung im Unternehmen. Lernkultur- und Kompetenzanalysen im betrieblichen Umfeld. edition QUEM, Band 18. Münster, New York, München, Berlin 2005, S. 601-672

Scharnhorst, A.: Constructing Knowledge Landscapes within the Framework of Geometrically Oriented Evolutionary Theories. In: Matthies, M.; Malchow, H.; Kriz, J. (Hrsg.): Integrative Systems Approaches to Natural and Social Sciences Systems Science 2000. Berlin 2001, pp. 505-515

Scharnhorst, A.: Modelle von Wertedynamik und Kompetenzentwicklung. In: Erpenbeck, J.; Heyse, V. (Hrsg.): Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer. QUEM-report, Heft 61. Berlin 1999

Scharnhorst, A.; Erpenbeck, J.: Modellierung von Kompetenzen im Licht der Selbstorganisation. In: Brunner, E. J.; Meynhard, T. (Hrsg.): Selbstorganisation in den Sozialwissenschaften. Jena 2006 (im Druck)

Schmidt, S. J.: Lernen, Wissen, Kompetenz, Kultur. Vorschläge zur Bestimmung von vier Unbekannten. Heidelberg 2005

Straka, G.: Concepts of self-directed learning. Theoretical and conceptual considerations. Münster, New York, München, Berlin 2000

Weidlich, W.: Sociodynamics: A Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences. Amsterdam 2000

**Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung
in Evolutions- und Selbstorganisationsmodellen**

**Die unumgänglichen theoretischen
Voraussetzungen**

Andrea Scharnhorst, Werner Ebeling

1 Zusammenfassung

Das Erwerben von Kompetenz ist ein Schlüsselement für das Sichbehaupten in den komplexen sich rasch verändernden modernen Arbeitswelten. Dies gilt für fast den gesamten Bereich beruflicher Tätigkeit. In einer Gesellschaft, die von Beschleunigung des Fortschritts und Globalisierung geprägt ist, gehört die schnelle Umstellung auf neue Bedingungen zu den zentralen Anforderungen an Arbeitskräfte. Flexibilität spielt eine immer größere Rolle. In diesem Beitrag wird – in Verallgemeinerung eines früher entwickelten Konzepts – die Evolution von Kompetenz, die Rolle von Kompetenzen in einem evolutionären Problemlösungsprozess und die Rolle von Flexibilität als Metakompetenz aus dem Blickwinkel eines allgemeinen Konzepts einer Geometrisch Orientierten Evolutions*THEorie* (G_O_E_THE) betrachtet.

Evolution von Kompetenz wird als Eigenschaft einer kollektiven Suche wechselwirkender Gruppen von Individuen nach lokal besseren Lösungen in einem mehrdimensionalen Problemraum beschrieben, in dem eine Wertelandschaft definiert ist. Im Sinne einer Modellierung sprechen wir dann von Suchagenten (Agenten der Kompetenzsuche). Ein Suchagent operiert in einer abstrakten Wertelandschaft und simuliert wesentliche Aspekte des realen Prozesses der Suche nach Kompetenz. Die Wertelandschaft wirkt als Fitnesslandschaft. Sie stellt eine Bewertung bestimmter Kompetenzen dar bzw. eine Bewertung der unter Einsatz bestimmter Kompetenzen erzielten Problemlösungen.

Die Dynamik der Suchprozesse wird, wie in früheren Arbeiten, durch evolutionäre Suchstrategien charakterisiert; insbesondere werden Strategien vom Darwin- und Boltzmann-Typ benutzt. Die geometrisch orientierten Darstellungen von Kompetenzentwicklung in Merkmalsräumen bzw. Problemräumen werden analysiert und früher entwickelte Konzepte (G_O_E_THE) werden systematisch verallgemeinert. Das Konzept des evolutionären Suchagenten wird eingeführt und es werden verschiedene interaktive Simulationen ausgearbeitet. Evolutionäre Suchagenten sind abstrakte Modelle realer Individuen oder Gruppen, die nach einer optimalen Anwendung ihrer Kompetenzen suchen, wobei ihnen ein Reservoir von Möglichkeiten zur Verfügung steht. Der entscheidende Unterschied zu den weithin bereits in der Forschung verwendeten Agenten ist die Tatsache, dass die Eigenschaften unserer neu eingeführten Agenten wesentlich auf Methoden der evolutionären Suchstrategien beruhen.

Die früher im Rahmen des allgemeinen Ansatzes von G_O_E_THE entwickelten Konzepte werden hier systematisch vertieft und im Hinblick auf die Kompetenzentwicklung ausgebaut. Als neuer Ansatz zur Modellierung von Metakompetenz werden wir in Erweiterung der früheren Modelle annehmen, dass die Populati-

onsdichten nicht nur von den Merkmalen (Orten) der Individuen, sondern auch von den Geschwindigkeiten der Merkmalsveränderung abhängen können. Weiter nehmen wir an, dass es geschwindigkeitsabhängige Kräfte gibt, die den Suchprozess beeinflussen. Mit diesem Ansatz gelingt es, die Rolle von Metakompetenz als Flexibilität bei der Anpassung bestimmter Kompetenzen explizit zu modellieren.

Durch die neue Erweiterung des Modells erhalten wir eine viel reichere Dynamik und haben die Möglichkeit, bestimmte Resultate aus Untersuchungen zu Boltzmann-Strategien und zur Theorie der aktiven Brown'schen Bewegung nutzen zu können. Im Zentrum des vorliegenden Berichts steht die Realisierung dieses neuen Konzepts im Rahmen eines formalen Modells und die Analyse von Ansätzen, die sich aus diesem Konzept für das Verständnis der Evolution von Kompetenz und die Rolle der Flexibilität ergeben.

Für die verschiedenen Modellierungsansätze wurden teilweise interaktive Simulationen entwickelt.

2 Einleitung – Modellierung von Kompetenzentwicklung als Selbstorganisationsprozess

Lernen ist in Arbeiten der Komplexitäts- und Selbstorganisationstheorie auf unterschiedliche Weise modelliert worden (Kühn u. a. 2003). In dieser Arbeit werden wir Lernen auf zwei unterschiedliche Arten beschreiben:

Im ersten Modell stellen wir Individualentwicklung im Sinne der Verwendung und Entwicklung unterschiedlicher Kompetenzen in Abhängigkeit von der jeweiligen Lernsituation dar. In Weiterentwicklung eines früheren Modells (Scharnhorst 1999) stellen wir uns vor, dass Individuen in unterschiedlichen Lernsituationen auf unterschiedliche Art und Weise auf ihre Kompetenzen zurückgreifen. Es entsteht ein Kompetenzprofil, das sich im Laufe der Zeit während eines Lernprozesses verändert. Fähigkeiten oder Eigenschaften, die für Kompetenzen relevant sind, bilden bei dieser Art der Modellierung die Achsen eines Merkmalsraums (in Analogie zum phänotypischen Merkmalsraum in der biologischen Evolution). Diese Eigenschaften lassen sich skalieren und messen (KODE[®]) und werden häufig selbst als Kompetenzen beschrieben. Es handelt sich dabei um anderes Kompetenzverständnis, als wenn man jemanden als kompetent bezeichnet. Im letzteren Fall wird dabei Kompetenz als Bewertung einer Person oder einer Gruppe aufgefasst. Wir betrachten hier Kompetenzen als Merkmale, deren Kombination, in anderen Worten, deren gemeinsame Anwendung bewertet wird. Wir betrachten Agenten (einzelne Individuen und Gruppen von Individuen) in einem solchen Kompetenzraum, die sich entwickeln, d. h. eine Dynamik haben und miteinander in Wechselwirkung stehen. Die Agenten suchen nach Maxima in einer bewerteten Kompetenzlandschaft, d. h. nach Kompetenzprofilen, die einer hohen allgemeinen Kompetenz entsprechen. Letztendlich beschreiben wir mit der evolutionsgestützten Suche eine Optimierung von Fähigkeiten.

In einem *zweiten Modell* modellieren wir den Problemlösungsprozess von einzelnen Individuen bzw. einer Gruppe von Individuen in einem Problemraum. Hierbei werden verschiedene Dimensionen des Problems durch die Achsen des Merkmalsraums beschrieben. Die Schwierigkeit des Problems wird durch die Höhe der Landschaft dargestellt. In diesem Modell sind Kompetenzen die Systemparameter, welche die Dynamik des Suchprozesses charakterisieren. Ein Agent oder Individuum mit guten Problemlösungsfähigkeiten wird die Maxima in der Landschaft schnell erreichen. In diesem Fall der Modellierung ist der Raum durch die Klasse der zu lösenden Probleme gegeben. Der Sucher ist im abstrahierenden Sinne ein Agent, der typische Züge der Suche nach Lösungen unter bestmöglichem Einsatz seiner Kompetenzen simuliert. Individuen (Agenten) suchen einzeln oder kollektiv nach Problemlösungen und wenden dabei unterschiedliche Kompetenzen im Sinne von unterschiedlichen Dynamiken von Elementarprozessen eines komplexen Suchprozesses an.

Beide Arten der Modellierung beruhen auf einem verallgemeinerten Modellansatz, einer geometrisch orientierten Evolutionstheorie (G_O_E_THE, Scharnhorst 2001). Bei diesem Modellansatz wird Evolution als Suchprozess in einer hochkomplexen Bewertungslandschaft beschrieben. Die Rolle von Werten und Normen spielt auch bei Prozessen selbstorganisierten Lernens eine große Rolle. Indem wir in diesem Projekt auf Modelle von Suchprozessen in Bewertungslandschaften zurückgreifen, schaffen wir eine Operationalisierung von Wertbildungsprozessen in der mathematischen Sprache von Selbstorganisations- und Evolutionsmodellen.

Evolutionsmodelle enthalten Modelle der Selbstorganisation. Wir verstehen unter Selbstorganisation das Entstehen von Struktur und Ordnung. Evolution beinhaltet dann den Prozess der Instabilisierung eines bestehenden Musters oder einer bestehenden Struktur und des Übergangs zu einer neuen Struktur. Die Modellierung und Simulation von solchen Übergangsprozessen steht im Zentrum der vorliegenden Arbeit. Im Bild der Evolutionssuche in einer Landschaft entspricht dem der Übergang von einem Gipfel zum anderen. Das Problem bei einem solchen Übergang liegt darin, global eine Verbesserung zu erzielen, aber lokal Verschlechterungen zuzulassen (man muss in der Lage sein, durch ein Tal zu gehen).

Für die Modellierung von Kompetenzen werden wir zum einen von dominanten Kompetenzprofilen sprechen, die in einer Gruppe als Norm etabliert sind. Diese stellen die bestehenden Strukturen dar. Ein neues Kompetenzprofil zu finden, wenn die Gruppe sich in einer Lernsituation befindet, ist die Aufgabe, die in einem Prozess von Versuch und Irrtum zu bewältigen ist. Das neue Kompetenzprofil ist der neue Gipfel, den es zu erreichen gilt. Dies ist die erste Modellsicht. In Simulationen wird erkundet, welche Prozesse einen solchen Übergang befördern, wie sich der Übergang zeitlich gestaltet (graduell oder sprunghaft) und welche Rolle Gruppeninteraktionen dabei spielen.

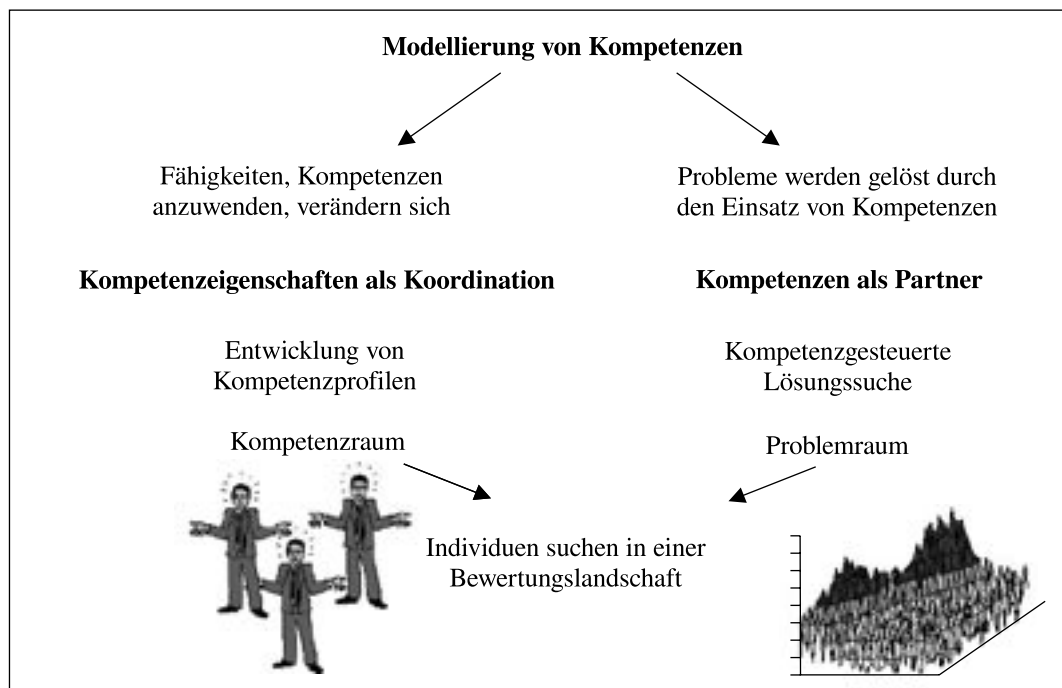
In der zweiten Modellsicht, in der Kompetenzen in Sinne von dynamischen Eigenschaften und Randbedingungen einer Problemlösungssuche durch Agenten verstanden werden, steht das Lösen von Problemen im Zentrum. Ein neuer Gipfel steht für eine neue Lösung des Problems. Die Kompetenzen werden in diesem Modell mit dynamischen Elementarmechanismen einer evolutionären Suche verbunden, wie Selektion, Mutation und Imitation. Simulationen werden benutzt, um zu klären, welches Wechselspiel von Evolutionsfaktoren die Lösungssuche erleichtert oder wann die Gruppe nicht in der Lage ist, eine Lösung zu finden (Abbildung 1).

Die doppelte Interpretation eines allgemeinen Modellansatzes spiegelt sich auch in dem Aufbau der vorliegenden Arbeit wider. Aus formaler mathematischer Sicht benutzen beide Modelle denselben mathematischen Apparat, nur die Interpretation ist verschieden. Die Kapitel entsprechen den verschiedenen Stufen der abstrak-

ten Modellbildung. Wir führen zunächst in das Bild einer geometrisch orientierten Evolutionstheorie ein und betrachten Populationen, d. h. Gruppen von Individuen, in verschiedenen Landschaftsräumen. Wir untersuchen die Dynamik der Entwicklung von Populationen als Einheiten der Evolution. Den Ausgangspunkt bildet ein verallgemeinerter Populationsbegriff. Im ursprünglichen populationsdynamischen Ansatz steht der Begriff der „Population“ für eine Gruppe von Organismen, die in Hinsicht auf Evolution und Ökologie als eine Einheit agieren (Roughgarden 1979). In Theorien der Selbstorganisation ist dieser Begriff auf Gruppen von Elementen beliebiger Natur erweitert worden. Als Elemente können dabei Teilchen, Moleküle, Organismen, aber auch Individuen, Organisationen und Institutionen fungieren. Deren Zugehörigkeit zu einer Gruppe orientiert sich an jeweils bestimmten individuellen Merkmalen, wie z. B. der Reaktionsfähigkeit von Molekülen im Fall chemischer Sorten, der politischen Präferenzen von Personen im Fall von Wählergemeinschaften oder der Nutzung bestimmter Technologien in Firmen im Fall von technologischen Populationen. Die Gruppen bzw. Populationen sind relativ autonome, wechselwirkende Subsysteme, die im System Wettbewerbs- und Selektionsprozessen ausgesetzt sind.

Abbildung 1

Ein Modellansatz und zwei verschiedene Modellierungen für Kompetenz – ein Beispiel für eine Generalisierung und zwei verschiedene Respezifizierungen



Im weiteren Teil dieser Arbeit entwickeln wir ein mathematisches Modell für die Dynamik von Populationen von Suchagenten im Phasenraum der Evolution. Darauf folgt eine genauere Analyse dieser Dynamik. In Simulationen wird das Lösungsverhalten des Modells systematisch erforscht. Wir untersuchen zuerst ein-

fache Fälle. Wir verbinden dabei die formale Analyse der Evolutionsdynamik mit möglichst konkreten Interpretationen im Sinne von Kompetenzentwicklung. Dabei handelt es sich auch formal um ein neues Feld, in dem es noch viele offene Fragen gibt. Es soll daher erwähnt werden, dass die Modellbildung, die sich an den Erfordernissen des Ausschreibungstextes orientierte, letztlich zu Modellen führte, die so in der Physik noch nicht betrachtet wurden. Das spricht dafür, dass soziale Phänomene auch neue Anforderungen an die Modellbildung stellen, die in einem gegenseitigen interdisziplinären Informationsaustausch auch zu einer Bereicherung des mathematischen Instrumentariums führen können (Ebeling et. al, 2005). Im letzten Teil der Arbeit werden die in diesem Beitrag entwickelten Modelle kritisch analysiert und es wird ein Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten gegeben.

Im Laufe der vorliegenden Arbeit werden wir immer wieder auf die zwei oben erwähnten unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten der Evolutionsmodelle zurückgreifen: Modellierung der Dynamik von Kompetenzen (Kompetenzraum) und Modellierung der Wirkung von Kompetenzen bei der Dynamik eines Problemlösungsprozesses (Problemraum).

Simulationen spielten bei der konzeptionellen Entwicklung der Modelle eine große Rolle. Im Laufe des Projekts wurden fünf verschiedene Simulationstypen entwickelt. Die Programmierfähigkeit der interaktiven Simulationen übernahm dabei Thomas Hüsing, der auch wesentliche Beiträge zur inhaltlichen Ausgestaltung der Simulationen leistete.

Zu den Simulationen gehören:

- Metaphorische Simulation: Visualisierung des Erkundens neuer Erfahrungsbereiche und eines damit verbundenen Anwachsens von Kompetenz (interaktiv)
- SimKom: Simulation einer gruppenspezifischen Interaktion von Individuen, die verschiedene Kompetenzen anwenden: Dabei wird die Gruppennorm (Ordner) intern stets neu definiert und die Gruppenentwicklung wird an der vom Ordner zurückgelegten Strecke gemessen. (interaktiv)
- SimKom_Berg: Simulation einer gruppenspezifischen Interaktion von Individuen, die verschiedene Kompetenzen anwenden und dabei zugleich die Gruppennorm (interne Norm) verändern und sich in einer einfachen Landschaft (externe Norm) bewegen: Das Ziel ist es, optimale Kompetenzprofile für Lernsituationen zu finden. (interaktiv)
- EvoKom: Simulation eines evolutionären Suchprozesses in einem Problemraum, bei der die Kompetenzen für verschiedene Elementarprozesse der Suche stehen und eine erfolgreiche Komposition von Kompetenzen für einen Lernprozess getestet wird (interaktiv)

- Brown'sche Agenten: Simulation einer Gruppe von Individuen als Brown'sche Bewegung von evolutionären Suchagenten im Kompetenz- bzw. Problemraum mit einem bestimmten mittleren Kompetenzprofil in einer kreativen Lernsituation, systematische Untersuchung der Übergangsraten

Die Simulationen haben dazu beigetragen, ein Verständnis dafür zu entwickeln, wie die Rolle von Kompetenzen in einem Lernprozess formalisiert werden muss und operationalisiert werden kann, um letztlich einer mathematischen Modellierung zugänglich gemacht zu werden. Welche Begrifflichkeit muss wie neu interpretiert werden? Welche Effekte erwarten wir von einer Simulation? Wie muss eine interaktive Simulation aussehen, um dem Benutzer ein Verständnis unseres Herangehens, aber auch Spielfreude zu vermitteln? In diesem Projekt haben Simulationen im Wesentlichen die Rolle einer „*trading zone*“ (Galison 1997) übernommen, um auch innerhalb des Projekts die Kommunikation zwischen Spezialisten mit verschiedenem disziplinären Hintergrund voranzutreiben.

Die verschiedenen Simulationen werden an verschiedenen Stellen in dieser Arbeit eingeführt. Die Resultate des Projekts sind auch auf einer Website dargestellt (siehe <http://www.niwi.knaw.nl/web/nerdi/Evolino/> bzw. suche nach EVOLINO in der Website www.virtualknowledgestudio.nl).

3 Formalisierung von Kompetenzen, Messbarkeit und zeitliche Entwicklung

Das Erwerben von Kompetenz ist ein Schlüsselement für das Sichbehaupten in den komplexen sich rasch verändernden modernen Arbeitswelten. Dies gilt für fast den gesamten Bereich beruflicher Tätigkeit. Es trifft für den Ingenieur ebenso zu wie für den Pädagogen, den Angestellten und den Arbeiter. In einer Gesellschaft, die von Beschleunigung des Fortschritts und Globalisierung geprägt ist, gehört die schnelle Umstellung auf neue Bedingungen zu den zentralen Anforderungen an Arbeitskräfte. Wer sich nicht rasch umstellen kann, ist ständig in Gefahr, bei einer Umstrukturierung des Betriebs, der Einrichtung, den Arbeitsplatz einzubüßen. Flexibilität spielt eine immer größere Rolle.

Kompetenzen werden in der Literatur seit vielen Jahren breit diskutiert (Rychen/Salganik 2001, Rychen/Salganik 2003, Sydow u. a. 2003, Reglin/Hölbling 2004). Den Kontext für diese Diskussionen bilden Veränderungen in den Arbeitswelten. Insbesondere die Entwicklungen hin zu einer Wissensökonomie und Informationsgesellschaft (Webster 1995) generieren veränderte Anforderungen, wie zum Beispiel mehr Flexibilität und offene Lernsituationen.

Das Thema „Kompetenz“ ist ein Hauptschwerpunkt in der Managementtheorie (dort unter dem Begriff der „*core competences*“ [Kernkompetenzen], Hamel/Prahalad 1994, Bond 2000), in der evolutorischen Ökonomik (Kompetenz einer Firma oder einer Region, Knudsen/Foss 1996), in den Computerwissenschaften (im Zusammenhang mit Algorithmen der Problemlösung, Wielinga/Akkermans/Schreiber 1998) und in der Lerntheorie bzw. der Lernpsychologie (etwa der Zusammenhang von Kompetenz und akademischem Lernen, Bernal/Inesta 2001).

Einige Autoren lehnen den Kompetenzbegriff auf Grund seiner unscharfen Definition bisher ab. Sie argumentieren dahingehend, dass der bisherige Begriff der Qualifizierungen bzw. Fähigkeiten (*skills*) auch weiterhin ausreichend ist. Dennoch wird anstelle von Fertigkeiten und Qualifikationen (*skills*) in verschiedenen Bereichen zunehmend von Kompetenzen gesprochen. Dieser Wechsel ist nicht zufällig und auch keine Modeerscheinung. Auf dem Gebiet der beruflichen Weiterbildung spiegelt dieser Wandel vielmehr die wachsende Dynamik und zunehmende Komplexität von Prozessen in der Arbeitswelt. Kompetenzen stehen im Zusammenhang mit Flexibilität und Veränderlichkeit, im Zusammenhang mit der Notwendigkeit von Problemlösungsprozessen unter Unsicherheit (Berliner Erklärung ... 2000).

Der grundlegende Wandel in den Arbeitswelten in den letzten Jahrzehnten ist unzweifelhaft und wird sich in der Zukunft fortsetzen. Die Politik versucht, dem durch verschiedene Förder- und Forschungsprogramme Rechnung zu tragen (in

Deutschland zum Beispiel durch das BMBF-Programm „Lernkultur Kompetenzentwicklung“ (http://www.bmbf.de/591_827.html, http://www.abwf.de/main/programm/frame_html). Eine Reflexion dieser veränderten Realität in der theoretischen Forschung scheint dringend erforderlich, insbesondere dann, wenn diese Forschung Aufgaben der Politikberatung wahrnehmen soll. Der noch unscharfe und erst weiter zu präzisierende Kompetenzbegriff scheint diesem Anliegen mehr zu entsprechen als andere Begriffe, die mit Konzepten verbunden sind, die vergangene Arbeitswelten reflektieren.

In Deutschland ist in den letzten Jahren ein spezieller Ansatz zur Kompetenzentwicklung vorgeschlagen worden. Dieser verbindet die Entwicklung von Kompetenzen mit der Fähigkeit von Individuen, selbstorganisiert zu lernen (Erpenbeck/Heyse 1999 a, b). Das vorliegende Projekt bezieht sich vor allem auf diesen Ansatz. Selbstorganisiertes Lernen schließt Prozesse des Problemlösens unter Unsicherheit ein, bei denen persönliche und soziale Kompetenzen gleichberechtigt neben Fachkompetenzen stehen.

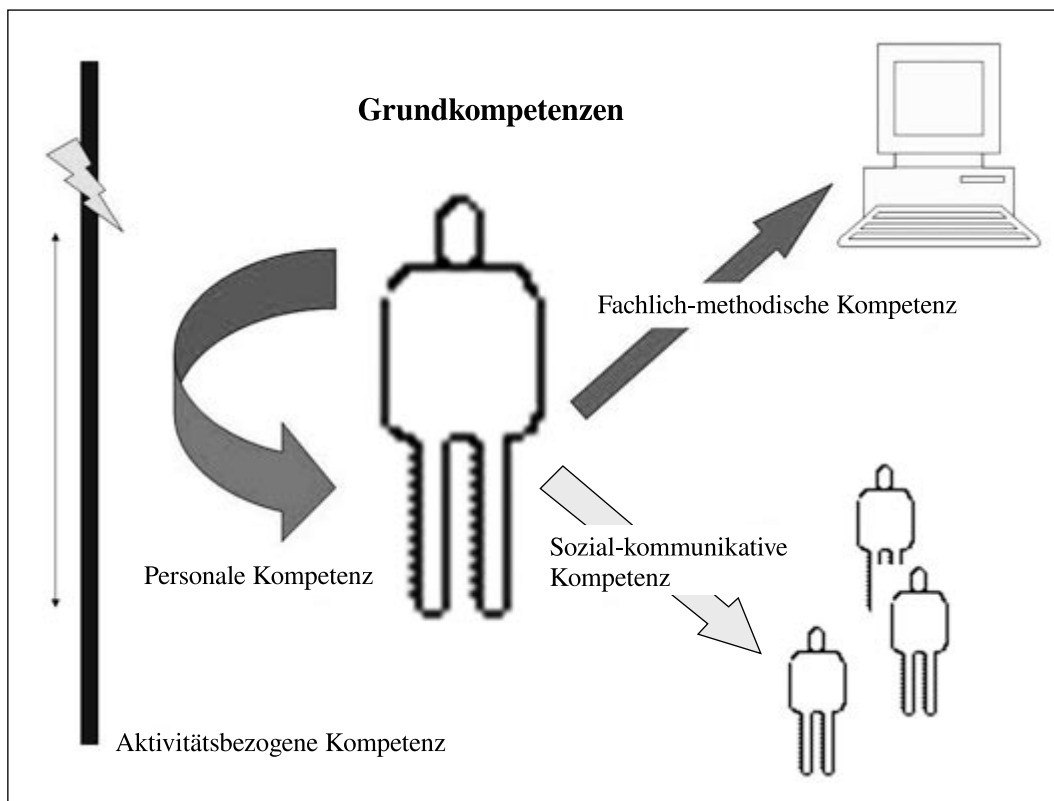
Mit einer Orientierung auf Prozesse des Lernens unter Unsicherheit ist es möglich, auch in anderen Disziplinen, die sich mit ähnlichen Problemen beschäftigen, nach relevanten Konzepten, Methoden und Modellen zu suchen. Bisher ist das Konzept des selbstorganisierten Lernens vor allem mit Selbstorganisationstheorien sowohl in den Sozialwissenschaften als auch in den Naturwissenschaften verbunden worden. Empirisch standen dabei Untersuchungen in Firmen im Vordergrund. Relativ wenig ist bisher die akademische Forschung als Untersuchungsfeld für selbstorganisiertes Lernen betrachtet worden. Dabei ist Forschung *per se* Lernen unter Unsicherheit.

Während in anderen Projekten des Grundlagenforschungsbereichs im Programm „Lernkultur Kompetenzentwicklung“ begriffliche, historische und empirische Dimensionen des Kompetenzbegriffes behandelt werden, konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf die Frage der Modellierbarkeit von Kompetenzen und nähert sich damit Problemen der Bildungsforschung auf ganz spezifische Weise. Auf diesem Gebiet sind Ansätze der Theorie der Selbstorganisation und Evolution, besonders im Zusammenhang mit den Arbeiten von Erpenbeck eingeführt worden (Erpenbeck/Weinberg 1992, Erpenbeck 1996, Erpenbeck/Heyse 1999 a, b). Für die vorliegende Arbeit zur Frage der mathematischen Modellierbarkeit von Kompetenzentwicklung haben wir uns entschieden, auf das von John Erpenbeck und anderen entwickelten Konzept aufzubauen. Hierbei werden Kompetenzen definiert als „Dispositionen selbstorganisierten Handelns“ (Erpenbeck/v. Rosenstiel 2003, S. XI). Ein entscheidender Unterschied zu Qualifikationen besteht darin, dass Kompetenzen nicht sachverhalts- oder resultatszentriert sind, sondern als subjektzentriert und handlungsorientiert beschrieben werden (Erpenbeck/v. Rosenstiel 2003). Kompetenzen werden sichtbar in Handlungen, sie beschreiben Handlungsvoraussetzungen.

Im Wesentlichen werden dabei vier Grundkompetenzen unterschieden, die sich auf unterschiedliche Weise zu dem Individuum und seiner gegenständlichen und sozialen Umwelt verhalten (Abbildung 2).

Abbildung 2

Die vier Grundtypen von Kompetenz (Schlüsselkompetenzen)



Bei dieser Einteilung werden die vier Kompetenzen folgendermaßen definiert (Erpenbeck/v. Rosenstiel 2003, S. XVI):

- „Personale Kompetenzen (P): Als die Dispositionen einer Person, reflexiv selbstorganisiert zu handeln, d. h. sich selbst einzuschätzen, produktive Einstellungen, Werthaltungen, Motive und Selbstbilder zu entwickeln, eigene Begabungen, Motivationen, Leistungsvorschläge zu entfalten und sich im Rahmen der Arbeit und außerhalb kreativ zu entwickeln und zu lernen.“
- „Fachlich-methodische Kompetenzen (F): Als die Disposition einer Person, bei der Lösung von sachlich-gegenständlichen Problemen geistig und physisch selbstorganisiert zu handeln, d. h. mit fachlichen und instrumentellen Kenntnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten kreativ Probleme zu lösen, Wissen sinnorientiert einzuordnen und zu bewerten; das schließt Dispositionen ein, Tätigkeiten, Aufgaben und Lösungen methodisch selbstorganisiert zu gestalten, sowie die Methoden selbst kreativ weiterzuentwickeln.“

- „Sozial-kommunikative Kompetenzen (S): Als die Dispositionen, kommunikativ und kooperativ selbstorganisiert zu handeln, d. h. sich mit anderen kreativ auseinander zu setzen und zusammenzusetzen, sich gruppen- und beziehungsorientiert zu verhalten und neue Pläne, Aufgaben und Ziele zu entwickeln.“

Während diese drei Kompetenzen individuelle Eigenschaften (besser Handlungsvoraussetzungen) darstellen, beschreibt die vierte aktivitätsbezogene Kompetenz übergreifend, wie Kompetenzen für tatsächliche Handlungen mobilisiert werden. Man kann diese Kompetenz daher im Sinne eines Aktivitätsniveaus (wie bei einem Lautstärkereger) verstehen, das dennoch einen eigenständigen Charakter hat.

- „Aktivitätsbezogene Kompetenz (A): Als die Dispositionen einer Person, aktiv und gesamtheitlich selbstorganisiert zu handeln und dieses Handeln auf die Umsetzung von Absichten, Vorhaben und Plänen zu richten – entweder für sich selbst oder auch für andere und mit anderen, im Team, im Unternehmen, in der Organisation. Diese Dispositionen umfassen damit das Vermögen, die eigenen Emotionen, Motivationen, Fähigkeiten und Erfahrungen und alle anderen Kompetenzen – personale, fachlich-methodische und sozial-kommunikative – in die eigenen Willensantriebe zu integrieren und Handlungen erfolgreich zu realisieren.“

Die Erpenbeck'sche Taxonomie stellt einen Versuch dar, Grundkompetenzen zu beschreiben. Wie bei jedem Versuch einer Klassifizierung menschlichen Verhaltens sind die Grenzen zwischen den verschiedenen Verhaltensanteilen fließend. In einer bestimmten Lernsituation oder Handlungssituation im Allgemeinen wird man immer verschiedene Aspekte verschiedener Kompetenzen vorfinden. Die von Erpenbeck vorgeschlagene Klassifikation ist andererseits eine unverzichtbare Voraussetzung für eine Operationalisierung von Kompetenzen im Sinne einer Modellbildung. Mit der eingeführten Systematik kann man Variablen definieren, die messbar sind und – wie wir im Folgenden sehen werden – unterschiedlich formalisiert werden können.

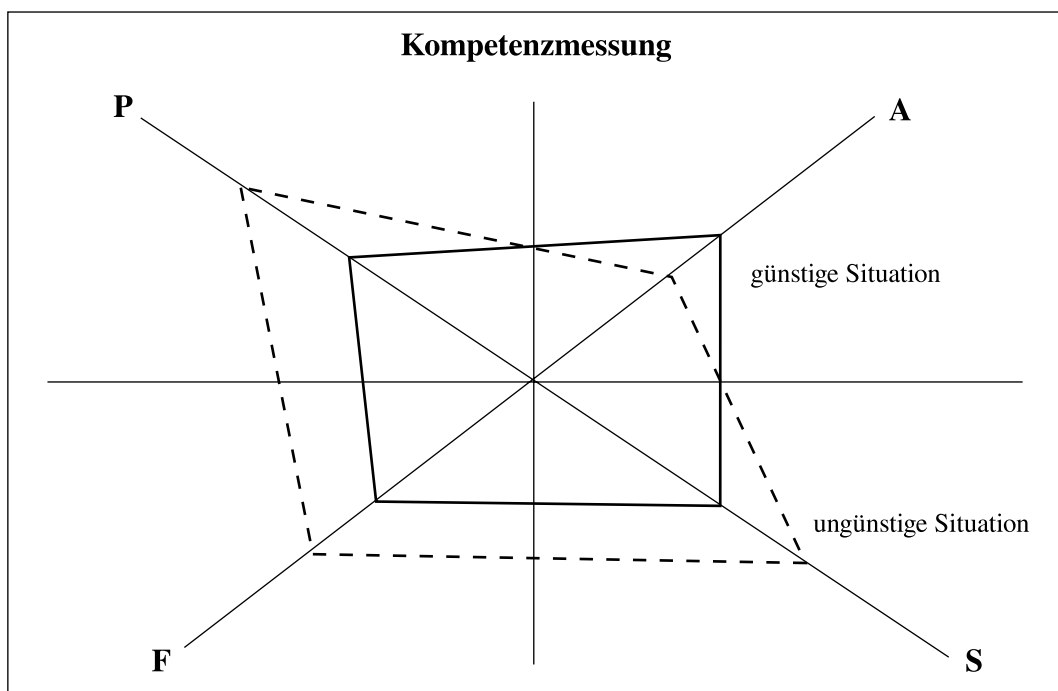
Geht man zunächst von der vorliegenden Taxonomie aus, so können sich im Verlauf der Modellbildung (einschließlich von Simulationen) auch Fragen über eine Neugruppierung der Kompetenzen ergeben (siehe etwa die metaphorische Simulation, Kapitel 5.3). Die Interpretationsbreite der Grundkompetenzen lässt auch im Bereich der mathematischen Modellierung und der evolutionstheoretischen Interpretation der Grundkompetenzen verschiedene Übertragungsmöglichkeiten zu. Jenseits der oben erwähnten zwei grundsätzlichen Modellierungen von Kompetenzen kann man Letztere auf verschiedene Art und Weise an Evolutionsmechanismen koppeln. Wir kommen später noch einmal auf diesen Punkt zurück.

Die Messbarkeit von Kompetenzen ist in verschiedenen Untersuchungen –basierend zum Beispiel auf den KODE®-Fragebogen – belegt worden. Die Messungen haben dabei gezeigt, dass es sich bei Kompetenzen um dynamische Größen handelt. Wichtige Ergebnisse, auf die wir später bei der Modellbildung wieder zurückgreifen, sind:

- Kompetenzen lassen sich für Individuen und für Gruppen definieren.
- In Gruppen lassen sich vorherrschende Verhaltensmuster als dominante Kompetenzprofile erkennen, die Resultat von Aushandlungsprozessen zwischen den Gruppenmitgliedern sind.
- In Gruppen lässt sich jenseits der Gruppennorm individuelle Variabilität im Kompetenzgebrauch der Gruppenmitglieder beobachten.
- Die Benutzung von Kompetenzen sind kontextabhängig, d. h. abhängig etwa von Anforderungssituationen (verschiedenen Lernsituationen) wird ein anderes Spektrum von Kompetenzen eingesetzt. (Abbildung 3)
- Kompetenzen lassen sich daher bewerten, etwa am Erfolg der Gruppe in einer Lernsituation.
- Kompetenzentwicklung ist pfadabhängig, d. h. das aktuelle Kompetenzprofil ist das Resultat eines irreversiblen Entwicklungsprozesses.

Abbildung 3

Die Anwendung verschiedener Kompetenzen in einer Gruppe in unterschiedlichen Lernsituationen (mit und ohne Stress). Abbildung angepasst nach (Erpenbeck/Heyse 1999 b, S. 84-85)



Kompetenzen, die mit Fragebögen wie KODE[®] ermittelt werden, lassen sich skalieren und wie in Abbildung 3 in einer Spinne auftragen. Sie werden damit zu messbaren Größen, die als Koordinaten, Variablen oder Parameter in einem mathematischen Modell verwendet werden können. Empirische Untersuchungen, wie die hier exemplarisch gezeigten, haben im Wesentlichen unsere Wahl eines Evolutionsmodells beeinflusst, das von einer räumlichen Darstellung von Suchprozessen ausgeht. Im nächsten Kapitel werden wir in diese Modelle einführen und dabei diskutieren, wie Kompetenzprofile zu Kompetenzräumen und -landschaften werden.

G_O_E_THE – Einführung in geometrisch orientierte Evolutionstheorien und -modelle

Mathematische Modelle, die auf dem Evolutionskonzept aufbauen, nehmen in der Biologie einen festen Platz ein. Sie abstrahieren auf unterschiedliche Art und Weise von den konkreten Eigenschaften der sich entwickelnden Populationen. Während die Populationsgenetik die Struktur genotypischer Eigenschaften der Mitglieder der Population und deren Veränderung anhand von Häufigkeitsverteilungen beschreibt, beziehen sich die meisten Modelle der Ökologie auf die Größe und Verteilung interaktiver Populationen.

Im Zusammenhang damit, dass sich das Evolutionsdenken fast in allen Bereichen der Wissenschaften durchgesetzt hat, wächst auch die Bedeutung von mathematischen Modellen, die auf dem Evolutionskonzept aufbauen. In der Ökonomie hat sich bereits ein eigener Zweig, die „Evolutionäre Ökonomie“ mit Zeitschriften, Sammelbänden und Institutionen herausgebildet (Jimenez-Montano/Ebeling 1980, Nelson/Winter 1982, Saviotti/Metcalf 1991, Witt 1993, Saviotti 1996).

Eine wichtige Rolle spielen dabei die Methoden der Theorie der Selbstorganisation bzw. der Synergetik, die in den letzten 30 Jahren eine enorme Entwicklung erfahren haben und in jüngerer Zeit unter dem Namen Komplexitätsforschung weitergeführt wurden (Haken 1973, Haken 1975, Ebeling 1976, Haken 1977, Nicolis/Prigogine 1977, Ebeling/Feistel 1994, Haken 1983, Nicolis/Prigogine 1987, Maturana/Varela 1988, Ebeling/Engel/Feistel 1990, Ebeling/Engel/Herzel 1990, Ebeling/Feistel 1990, Haken/Haken-Krell 1992, Kauffman 1993, Ebeling/Feistel 1994, Haken 1995, Mainzer 1997). Auch in der Soziologie erfahren Modelle der Selbstorganisation und Evolution eine immer weitere Verbreitung (Weidlich/Haag 1983, Prigogine/Sanglier 1985, Weidlich 1991, Troitzsch 1996, Troitzsch 1997, Weidlich 2000). In der Wissenschaftstheorie beobachten wir ebenfalls, dass sich Evolutionsmodelle immer stärker durchsetzen (Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1990, Gilbert 1997, Ahrweiler/Gilbert 1998, Leydesdorff 2001, Scharnhorst 2003). Eine besondere Richtung der Evolutionstheorie besteht darin, dass die Evolution von Populationen durch die Veränderung von Dichteverteilungen in abstrakten

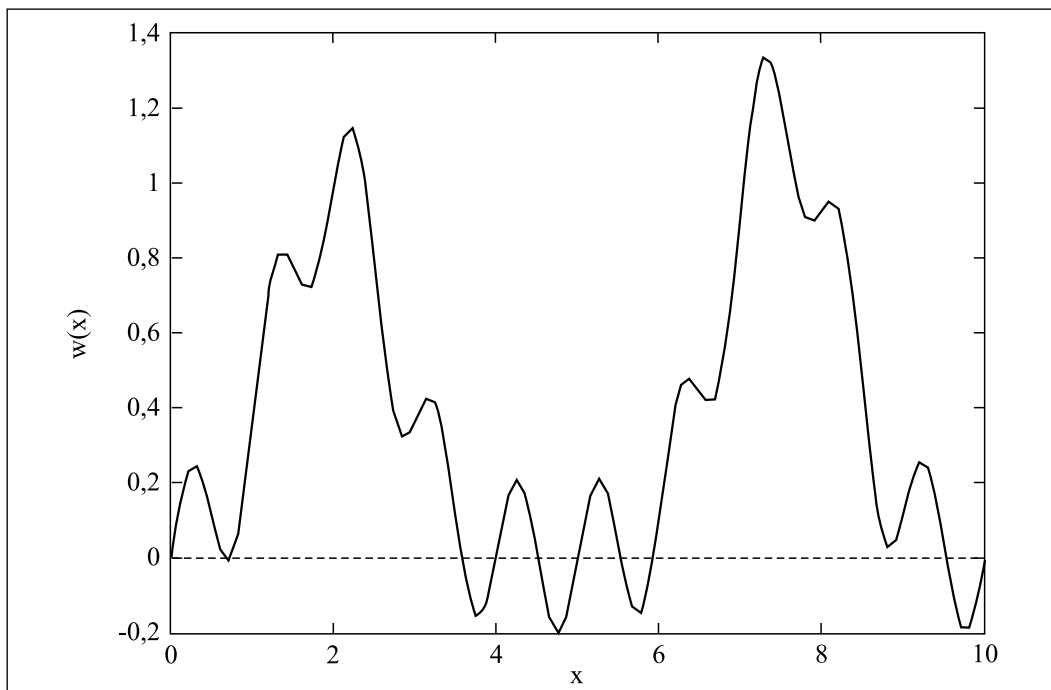
hochdimensionalen Räumen modelliert wird. Dieser fruchtbare Ansatz geht auf die Metapher von Wright zurück, der „Evolution als Bergsteigen in Landschaften“ betrachtet (Wright 1932).

Der allgemeine Ansatz von Wright, der von Conrad und anderen ausgearbeitet wurde, bietet ein festes Fundament für die hier zu entwickelnden mathematischen Modelle (Conrad 1978, Ebeling/Feistel 1994, Feistel/Ebeling 1982, Conrad 1983, Feistel/Ebeling 1989).

Abstrakte hochdimensionale Räume waren lange Zeit nur Objekte der Mathematik und der theoretischen Physik. Neuerdings spielen solche Räume in Verbindung mit Landschaftsmodellen eine zunehmend wichtige Rolle für die Veranschaulichung und Analyse dynamischer Prozesse in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen. Die Darstellung und Analyse von dynamischen Systemen in Zustandsräumen mit Landschaften hat bereits wesentlich zum Verständnis nichtlinearer Evolutions-Phänomene beigetragen (Conrad 1978, Ebeling/Feistel 1990). Solche Vorstellungen spielen in neuerer Zeit auch beim Wissenstransfer in andere Gebiete eine wichtige Rolle (vgl. z. B. Krugman 1996).

Abbildung 4

Illustration eines eindimensionalen Schnitts durch eine Suchlandschaft über dem Phasenraum eines evolvierenden Systems



Zur Illustration wurde in Abbildung 4 ein Beispiel einer Landschaft (im eindimensionalen Schnitt) mit vielen Maxima und Minima dargestellt. Evolution würde, metaphorisch gesehen, darin bestehen, dass sich das System über die vielen Ne-

benmaxima und das Hauptmaximum (rechts im Bild) herantastet. Die Dynamik dieses Suchprozesses muss man sich als einen stochastischen Prozess vorstellen, der zwar im Durchschnitt „aufwärts“, aber zwischenzeitlich (notwendigerweise) auch „abwärts“ gehen kann.

Für geometrisch orientierte Evolutionstheorien sind die folgenden Begriffe zentral:

- *Raum*: im Sinne eines phänotypischen Raums oder allgemeiner eines Merkmalsraums; die Merkmale beschreiben dabei die suchenden Agenten. Die Einführung eines Raums ermöglicht die Definition von Begriffen wie Nachbarschaft und Abstand und – was für die Evolutionstheorie von besonderer Bedeutung ist – die Betrachtung von Bewertungs- bzw. Fitnesslandschaften. Weiterhin können in diesem Bild erstmalig solche wichtigen Konzepte wie Evolutionsgeschwindigkeit eingeführt werden.
- *Suchagenten (Gruppen, Populationen)*: Suchagenten nehmen bestimmte Orte im Merkmalsraum ein, sie verändern (entwickeln) sich, indem sie nach besseren Merkmalen suchen. Diese Merkmalsänderung führt zu einer Bewegung der Agenten im Merkmalsraum. Da unsere Agenten einer ständigen Suchdynamik unterworfen werden, sind sie nicht gleichmäßig über den Merkmalsraum verteilt. Strukturen werden sichtbar in der Anhäufung von Agenten an bestimmten Stellen (Plätzen) des Merkmalsraums.
- *Besetzungslandschaft*: Die durch die Suchdynamik generierten Häufungen von Suchern in der Landschaft bilden Gruppen bzw. Populationen. Insgesamt bildet die Häufigkeitsverteilung der Agenten über dem Raum eine Besetzungslandschaft.
- *Bewertungslandschaft*: im Sinne einer Fitnesslandschaft oder einer Wertlandschaft, diese kann extern vorgegeben oder intern durch die Systemdynamik selbst bestimmt werden. Die Bewertungslandschaft bildet eine zweite Landschaft über dem Raum, oder anders ausgedrückt, die Besetzungslandschaft entwickelt sich parallel zur Bewertungslandschaft. Man kann auch davon sprechen, dass die Bewertungslandschaft besiedelt wird.
- *Systemdynamik*: Die Systemdynamik charakterisiert die Dynamik der Suche in einer Bewertungslandschaft. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um eine lokale Gradientendynamik, d. h. lokal werden nur Verbesserungen akzeptiert. Es gibt aber viel kompliziertere Fälle, in denen die Populationsverteilung die Form der Landschaft und damit auch die Suche auf der Landschaft nichtlinear beeinflusst.
- *Evolutionsmechanismen*: Mechanismen, nach denen sich die Ausprägung (Besiedlung) bestimmter Merkmale in einer Population oder mehreren verändert. Basis- oder Elementarmechanismen bezeichnen wir als Wettbewerb, Selektion und Mutation. Für soziale Systeme kommt als wesentlich neuer Mechanismus der Evolution die Imitation hinzu. Die Evolutionsmechanis-

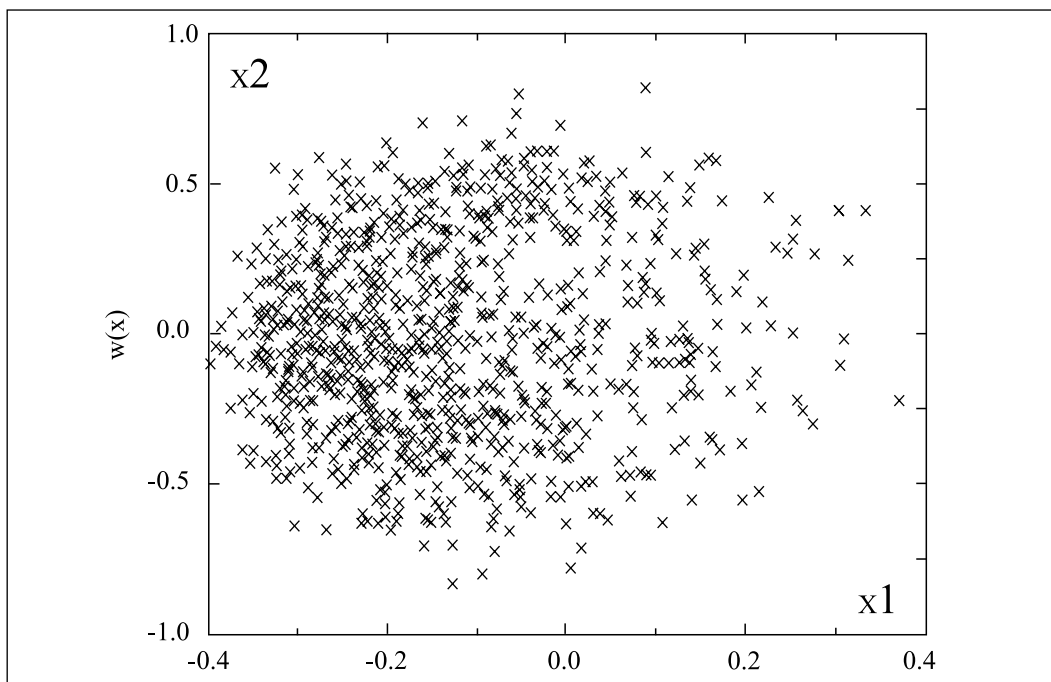
men können auch im Sinne von Evolutionsstrategien der suchenden Agenten verstanden werden. Diese suchen nach Maxima in der Bewertungslandschaft. Evolution lässt sich somit als Optimierungsprozess verstehen.

4.1 Räume und Besiedlung

In der Mathematik und Physik kommt ganz allgemein dem Zustandsraum oder Phasenraum – als abstraktem, mathematischem Raum der Zustandsvariablen – eine wesentliche Bedeutung zu. Der Zustandsraum enthält alle möglichen Konfigurationen von Merkmalen und deren Besiedlung, er entspricht im verallgemeinerten Sinne dem Merkmalsraum (Abbildung 5, 6).

Abbildung 5

Eine Punktwolke im Phasenraum, die den Zustand der Population zu einem betrachteten Zeitpunkt darstellt.



Jeder Punkt entspricht der Lage eines Individuums (Agenten) in diesem Suchraum. Häufungen von Punkten entsprechen Gruppen, die sich durch gemeinsame oder ähnliche Merkmale definieren lassen.

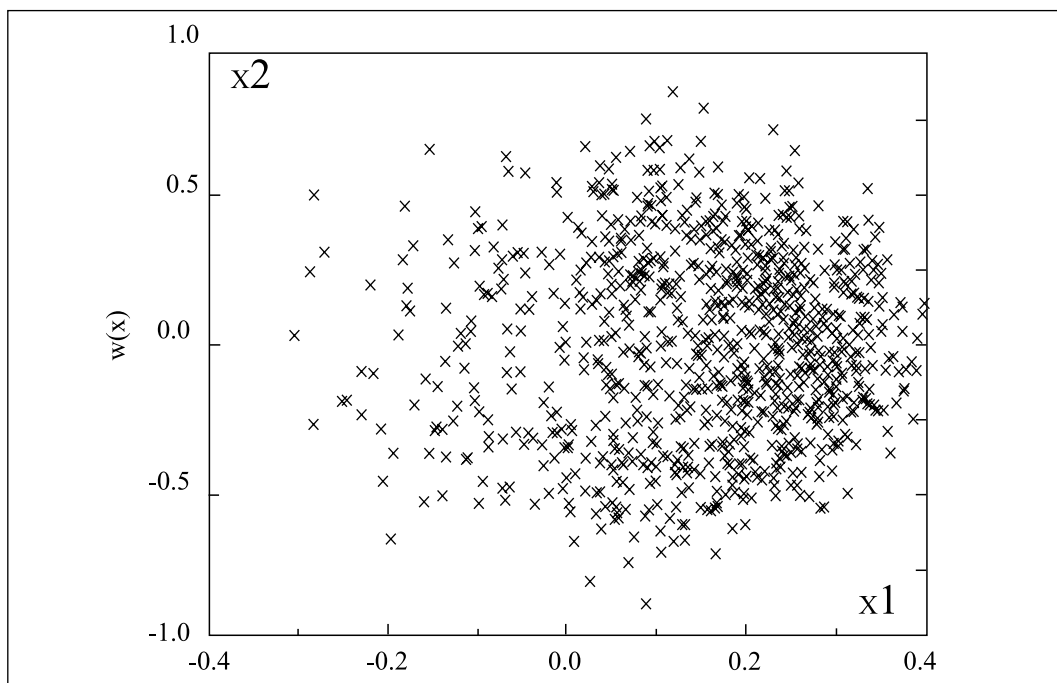
Je nach betrachtetem, konkretem System lassen sich mitunter Funktionen über dem Zustandsraum definieren, deren Extremaleigenschaften Aussagen über Stationarität und Stabilität von Zuständen und Prozessen liefern.

In der klassischen Physik ist es der Phasenraum (Ort, Impuls), in dem für mechanische Systeme die potentielle Energie und die Hamilton-Funktion als skalare

Funktionen über dem Phasenraum definiert. Die Minima dieser Funktion kennzeichnen besondere Konfigurationen, die im gedämpften System stabile Lagen darstellen. In der Thermodynamik bilden makroskopisch definierte Variable bzw. Zustandsgrößen – wie Druck, Volumen und Temperatur – den Raum, in dem thermodynamische Potentiale als ausgezeichnete Zustandsgrößen definiert werden. Die Analyse der Extremaleigenschaften dieser Funktionen ermöglicht die Bestimmung von Zustandsveränderungen (Trajektorien in Phasenraum) und der Stabilität von Gleichgewichtszuständen. Zeichnen sich thermodynamische Gleichgewichtsprozesse in abgeschlossenen Systemen durch eine Maximierung der Entropie aus, so lassen sich lineare Nichtgleichgewichtsprozesse durch eine Minimierung der Entropieproduktion charakterisieren (Ebeling/Feistel 1994, Ebeling/Feistel 1990, Ebeling/Sokolov 2005).

Abbildung 6

Eine Punktwolke im Phasenraum, die die Population zu einem späteren Zeitpunkt darstellt.



Die veränderte Lage entspricht einer veränderten Konfiguration von Merkmalen. Die Gruppe hat sich bezüglich ihrer Merkmale bewegt, verändert, entwickelt.

Ein weiteres prominentes Beispiel sind die im Rahmen der Katastrophentheorie (Thom 1972) untersuchten sogenannten Gradientensysteme. Die Trajektorien der Systemdynamik folgen dabei den Gradientenlinien einer Potentialfunktion und eine topologische Analyse der Potentialflächen führt zu stationären Zuständen und deren Stabilität. Für die meisten komplexen Systeme existieren allerdings, wenn überhaupt, nur lokale Kriterien für die Stationarität von Prozessen und die Stabilität stationärer Zustände (Ebeling/Feistel 1994, Ebeling/Feistel 1990).

4.2 Das Landschaftsbild – Bewertung und Strategien

Wir beziehen uns in dieser Arbeit auf Landschaften in einem *evolutionstheoretischen Zusammenhang*. Der Übergang von allgemeinen dynamischen Systemen zu evolutionären Prozessen führt dabei über Konkurrenz und Selektion. Selektion schließt immer eine Bewertung und damit die Existenz eines Vergleichsmaßstabs ein. Als Funktion des Zustands kann ein solches Selektionskriterium – und sei es auch nur lokal definiert – als Landschaft über dem Zustandsraum interpretiert werden.

Im *Landschaftsbild* führt Selektion – anschaulich gesehen – zum Ersteigen des nächstgelegenen Gipfels. Der Übergang von einem Selektions- zu einem Evolutionsprozess geht über Folgen solcher lokalen, bewertenden Elementarprozesse. Damit ist insbesondere die Frage verbunden, wie einmal erreichte lokale Gipfel wieder verlassen werden können, also wie stationäre Zustände wieder instabil werden. Der Schlüssel dazu sind Mutationen. Innovationen sind besondere Mutationen, nämlich solche, die zu bisher nicht aufgetretenen besonders folgenreichen Zuständen führen. Das Testen neuer Zustände stellt ein wesentliches Element dar, um in der Konkurrenz Vorteile zu erringen. Das Erreichen eines lokalen Gipfels beschreibt die Entstehung eines zeitweilig stabilen Ordnungszustands durch Selbstorganisation. Evolution lässt sich dann als Folge von Selbstorganisationsschritten auffassen.

Im Kontext biologischer Evolution ist die Idee einer „Fitnesslandschaft“ zuerst von Wright (1932) entwickelt worden. Wright beschreibt die Existenz verschiedener Maxima der Adaptivität in einem hochdimensionalen Raum möglicher Gen-Kombinationen. Das Problem für die Evolution besteht dann nach Wright darin, wie die Spezies den Weg von niedrigeren zu höheren Berggipfeln finden und dabei die dazwischen liegenden Täler überwinden. Allgemein handelt es sich dabei um das Problem, wie in einer vielgestaltigen Landschaft lokale Optima gefunden und wieder verlassen werden können.

Die Vorstellung einer skalaren Fitnessfunktion ist mit Sicherheit zu einfach, um die komplexen Vorgänge biologischer Evolution abzubilden. Landschaftsmodelle aber bieten die Möglichkeit, grundlegende Eigenschaften des Evolutionsprozesses zu untersuchen.

Gegenwärtig finden sich Arbeiten zu „Fitnesslandschaften“ im Kontext molekularer Evolution (Schuster/Stadler 1994), der Komplexitätsforschung (Kauffman 1995) und evolutionärer Algorithmen (Asselmeyer/Ebeling/Rosé 1996 b, Rosé 1998). Zunehmend wird das Konzept von adaptiven und Fitnesslandschaften in Hinsicht auf die Beschreibung und das Verständnis sozialer Evolution diskutiert (Allen 1995, Kauffman 1995, Westhoff/Yarbrough/Yarbrough 1996, Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 1998).

Die Bewertungslandschaft mit lokalen Attraktoren fungiert als eine Art Evolutionsprinzip, das die qualitativen Eigenschaften der möglichen Selektions- und Evolutionsprozesse im System beschreibt. Evolution wird damit als lokale Optimierung bestimmter Parameter oder Funktionen beschreibbar.

Globale Evolutionskriterien existieren nur in Sonderfällen der Dynamik (Ebeling/Feistel 1990, Feistel/Ebeling 1982, Ebeling/Feistel 1990). Die Annahme der Existenz einer Bewertungsfunktion schließt nicht ein, dass diese den Akteuren vor dem Suchprozess bereits bekannt ist.

Analytische Beschreibungen von Bewertungs- oder Zielfunktionen sind in der Regel nur für sehr einfache Probleme angebar. Das Lösen komplexer Probleme folgt nicht einem Algorithmus, sondern muss eher als ein (blinder) tastender Suchprozess verstanden werden. Dennoch nehmen wir an, dass für einmal gefundene, d. h. besiedelte Problemdefinitionen (bzw. Lösungsvorschläge) ihre Praktikabilität definiert werden kann, und sei es im Vergleich zur Einnahme einer anderen Problemdefinition. Ohne Bewertung und Vergleich ist kein Lernprozess denkbar.

Der Zusammenhang von Evolution und Optimierung lässt sich bereits in einfachen Evolutionsmodellen abbilden. Betrachten wir als Beispiel die Fisher-Eigen-Dynamik (Ebeling/Feistel 1990). Hier entscheiden die Reproduktionsraten über den Selektionsverlauf. Im klassischen Fisher-Eigen-Modell ohne Mutationen und unter der Randbedingung konstanter Populationsgröße gewinnt die Sorte mit der größten Selbstreproduktionsrate (Fitness), während alle anderen Konkurrenten ausselektiert werden. Werden in das System immer neue, bessere Sorten eingeführt, so lässt sich zeigen, dass die mittlere Fitness eines Populationsensembles dabei anwächst. Für diese Größe gilt ein vollständiges Evolutionsprinzip (Ebeling/Feistel 1990).

Die Modellbeschreibung in diesem Beispiel enthält alle Elemente evolutionärer Suche (Reproduktion, Konkurrenz, Selektion, Mutation), ohne diese notwendigerweise in einem Suchraum anzusiedeln. Als Einheiten der Evolution fungieren Populationen. Diese werden in diskreten Evolutionsmodellen, wie auch in anderen traditionellen populationsdynamischen Modellen – etwa in Lotka-Volterra-Systemen (Peschel/Mende 1986) und in Replikatorsystemen (Hofbauer/Sigmund 1984) – als klassifizierbar und nummerierbar angesehen, d. h. in einem gewissen Sinne typologisiert beschrieben.

Die Entstehung von Neuem im System ist damit an die Entstehung eines neuen Typs mit neuen Eigenschaften gebunden. Um eine solche *diskrete Beschreibung* mit einem Raumkonzept zu verbinden und Bewertungs- bzw. Selektionskriterien verschiedener Typen von Populationen als Landschaft darzustellen, muss zusätzlich eine Nachbarschaftsbeziehung zwischen Sorten definiert werden.

Zu einer anderen Möglichkeit der Beschreibung von Evolutionsdynamiken in Landschaften gelangt man, wenn man von vornherein von einem – abstrakten – Merkmalsraum (ähnlich einem phänotypischen Merkmalsraum) ausgeht. In diesem sind individuelle Merkmalsstrukturen durch Orte und Populationen durch Gruppen besiedelter Orte repräsentiert. Entsprechend dem *Landschaftsbild* soll die Dynamik der Besiedlung des Merkmalsraums einer Bewertungsfunktion folgen, die dann als Fitness in einem verallgemeinerten Sinne verstanden wird. Evolution wird als Prozess des Bergsteigens in dieser fiktiven Landschaft beschrieben.

Dem Problem der Definition einer Fitnessfunktion und der Kenntnis ihrer konkreten Gestalt wird durch den Ansatz einer korrelierten Zufallslandschaft Rechnung getragen. Damit lassen sich Verbindungen zur Physik ungeordneter Systeme (Mit der Verbindung zur Theorie ungeordneter Potentiale in der Festkörperphysik schließt sich in einem gewissen Sinne der Kreis zwischen evolutionstheoretisch konzipierten Landschaften und den zu Beginn genannten „herkömmlichen“ Landschaftsvorstellungen in der Physik; Anderson 1983.) und zur Beschreibung der Dynamik in Fitnesslandschaften herstellen. Letztere werden sowohl im Kontext makromolekularer Evolution (Fontana u. a. 1993) als auch im Kontext komplexer Optimierungsprobleme (Kauffman 1993, Schwefel 1995, Rosé 1998) untersucht. Zunehmend wird das Konzept von adaptiven und Fitnesslandschaften auch in Hinblick auf die Beschreibung und das Verständnis sozio-technologischer Evolution diskutiert. Der Vorteil dieses Zugangs liegt neben seiner Anschaulichkeit auch darin, dass Prozesse der Formierung von Populationen ebenso wie ihr Verschmelzen oder ihre Differenzierung endogen aus der Systemdynamik folgen und keiner taxonomischen Eingriffe bedürfen. Individuelle Variabilität kann explizit beschrieben werden.

Wir werden in dieser Arbeit die Aussagefähigkeit solcher Modelle bezüglich von Evolutions- und Innovationsprozessen im Vergleich mit diskreten Beschreibungen hervorheben. Dabei konzentrieren wir uns auf Ansätze zur Modellierung von konkurrierenden Populationen in adaptiven Landschaften (Ebeling u. a. 1984, Feistel/Ebeling 1989). Diese gehen von einem kontinuierlichen Merkmalsraum aus und werden im Folgenden als kontinuierliche Modelle bezeichnet. Diskrete und *kontinuierliche Modelle* sind in gewisser Weise äquivalent, vergleichbar etwa der Äquivalenz zwischen verschiedenen Formulierungen der Quantentheorie durch die Heisenberg'sche Matrizenmechanik einerseits und die Schrödinger'sche Wellenmechanik andererseits. Sie ermöglichen unterschiedliche Perspektiven der Sicht auf ein und denselben Entwicklungsprozess. Beide Modellansätze unterscheiden sich dabei aber durchaus in ihren konzeptionellen Ansätzen und den formalen Aussagefähigkeiten. Dies spielt für konkrete Modellbeschreibungen und insbesondere in der Anwendung auf soziale Phänomene eine wesentliche Rolle.

4.3 Populationen und das qualitative Systemverhalten – Ordneranzahl und Strukturen

Die Population ist, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, der zentrale Begriff im evolutionären Kontext. Bei Verallgemeinerungen des Populationsbegriffs – etwa in der Synergetik, in der Organisationssoziologie (Hannan/Freeman 1989, Haken 1995) oder in Arbeiten zur Ausbreitung von technologischen Innovationen (Mahajan/Peterson 1985) – wird meist auf den Modellkontext der Populationsdynamik (Lotka-Volterra-Modelle) zurückgegriffen. Dies hat in Bezug auf Theorien und Modelle des technologischen Wandels zur Kritik an einer Überlast der Beschreibung *intertechnologischer* Wechselwirkungen und einer Vernachlässigung *intra-technologischer* Prozesse geführt (Saviotti/Metcalfe 1991, Saviotti 1996). Diese Kritik steht im Zusammenhang mit prinzipiellen Überlegungen zur Relevanz biologischer Evolutionstheorie für ökonomische, soziologische und technologische Prozesse (Metcalfe 1989, Metcalfe/Gibbons 1989, Andersen 1996). Dabei wird insbesondere die Bedeutung eines *population thinking* betont. Dieses sieht die typischen Merkmale als Abstraktionen von einem in der Realität breit variierenden Verhalten an und rückt die Variabilität ins Zentrum der Betrachtung. Im Unterschied dazu wird *typological thinking* mit der Fokussierung auf einige wenige Merkmale in der Unterscheidung von den Populationen verbunden. Geometrisch orientierte Evolutionstheorien heben diese Unterscheidung in gewisser Weise auf. Sie erlauben es, sowohl das individuelle Verhalten von Agenten zu verfolgen, als auch über das Konzept der Häufigkeits- oder Dichteverteilung das Verhalten von Gruppen von Agenten zu beobachten. Damit erweitern sich die Möglichkeiten der qualitativen Diskussion von Systemdynamik.

In Populationsmodellen ist die Dimensionalität des Systems, d. h. die Anzahl der wechselwirkenden Gruppen bzw. Populationen, entscheidend für die Möglichkeiten des Systems (Nicolis 1995). Dies betrifft insbesondere die sogenannten stationären, stabilen Zustände, d. h. die Ordnungszustände, die ein System einnimmt. Im Falle von einer Gruppe (eindimensionale Systeme) wird als stationär ein Zustand angegeben, in dem die Gruppe eine bestimmte Gruppenstärke erreicht hat. Das System folgt einem Attraktor (Endzustand). Bereits das Vorhandensein einer zweiten Gruppe erhöht die Verhaltensvielfalt im System. Nunmehr können für die beiden Gruppen Attraktoren betrachtet werden. Diese konkurrieren miteinander. Dabei besteht die Möglichkeit, dass jeweils eine der Gruppen gewinnt, dass beide koexistieren oder dass sich die Gruppen in ihrer Dominanz abwechseln (Oszillationen). Im Fall dreier wechselwirkender Gruppen können sogar sogenannte chaotische Attraktoren auftreten. Dabei ist das Systemverhalten nicht mehr vorhersagbar, obwohl die Systemdynamik eindeutig beschreibbar ist. Für hochdimensionale Systeme vervielfältigen sich die Möglichkeiten entsprechend (Feudel/Grebogi 1997).

Die Katastrophentheorie von Thom (1972) hat für eine spezielle Klasse von Systemen grundsätzliche Aussagen dazu gemacht, unter welchen Bedingungen (Veränderung von Systemparameter) Ordnungszustände auf welche Weise angenommen werden. Auch für kontinuierliche Modelle der evolutionären Suche im Landschaftsbild lassen sich qualitative Aussagen machen. In diesem Fall bildet die Dimensionalität des Merkmalsraums das entscheidende Kriterium. Die Koordinaten des Merkmalsraums bilden die Ordnungsparameter des Systems.

Ganz allgemein kann der lokale Verlauf der Bewertungs- oder Fitnessfunktion $w(q_1, q_2, \dots, q_n; a_1, \dots, a_m)$ näherungsweise durch ein Polynom $p(q_1, q_2, \dots, q_n; a_1, \dots, a_m)$ beschrieben werden. Hierbei sind q_1, \dots, q_n die Ordnungsparameter und a_1, \dots, a_m die sonstigen (konstanten oder langsam variablen) Systemparameter, auch Bifurkationsparameter genannt. Im einfachsten Fall ist $p(q) = E(q) - \langle E \rangle$, d. h. die lokale Abweichung vom Mittelwert entwickelt in eine Taylor-Reihe nach q_1, \dots, q_n . Wenn für die Fitnessfunktion gilt $p > 0$, so wächst lokal die dazugehörige Population, d. h. die Gruppe wird größer, gewinnt mehr Mitglieder. Wenn für die Fitnessfunktion gilt $p < 0$, so verlassen Agenten dieses Gebiet. Mit anderen Worten: Zwei Gebiete mit verschiedenem Vorzeichen von p driften auseinander. Das wird in der Biologie als „Speciation“ (Bildung neuer Spezies) bezeichnet. In einer sozialen Interpretation des Landschaftsbilds, in der Gruppen nach verschiedenen Normen und Werten suchen, entspricht diesem Vorgang die Ausbildung einer Gruppe mit relativ einheitlicher Norm, die sich qualitativ von anderen Gruppen absetzt. Das kann bis zur Bildung von Interessengemeinschaften, Klubs, Vereinen, Verbänden usw. gehen. Wichtig ist in unserem Zusammenhang nur die deutliche qualitative Unterscheidbarkeit und Eigenständigkeit der sich neu herausbildenden Gruppe.

Im Fall eines eindimensionalen Merkmalsraums (ein Ordnungsparameter) lässt sich das Verhalten grafisch darstellen. Die Knoten (Gruppen) bewegen sich vorzugsweise in Richtung des Anstiegs der Bewertungsfunktion. Das führt gleichzeitig zu einer lokalen Verformung der Landschaft.

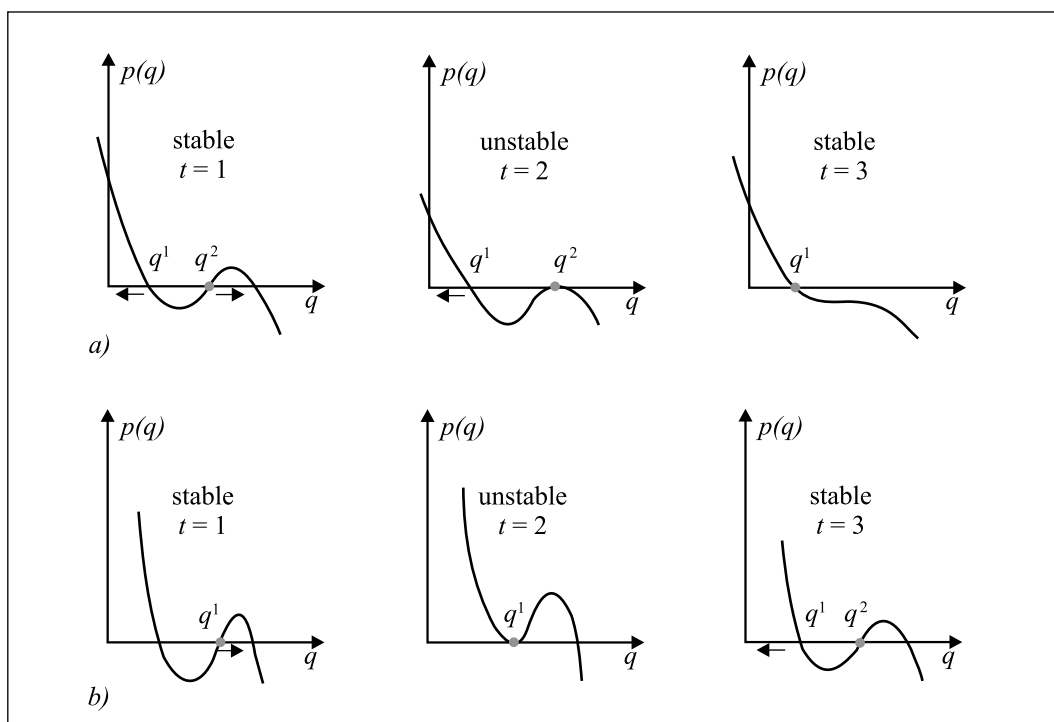
In Abbildung 7 werden zwei qualitativ verschiedene Fälle dargestellt:

- a) Auf Grund einer Veränderung der Landschaft verschwindet eine Gruppe (der rechte Hügel mit $p > 0$).
- b) Eine neue Gruppe bildet sich heraus (der rechte Hügel $p > 0$).

Diese und weitere qualitative Änderungen höherer Ordnung können nach der Katastrophentheorie in Abhängigkeit von den Systemparametern a_1, \dots, a_m klassifiziert werden.

Abbildung 7

Beispiel für das Verschwinden (Fall a) bzw. die Herausbildung einer eigenständigen Gruppe

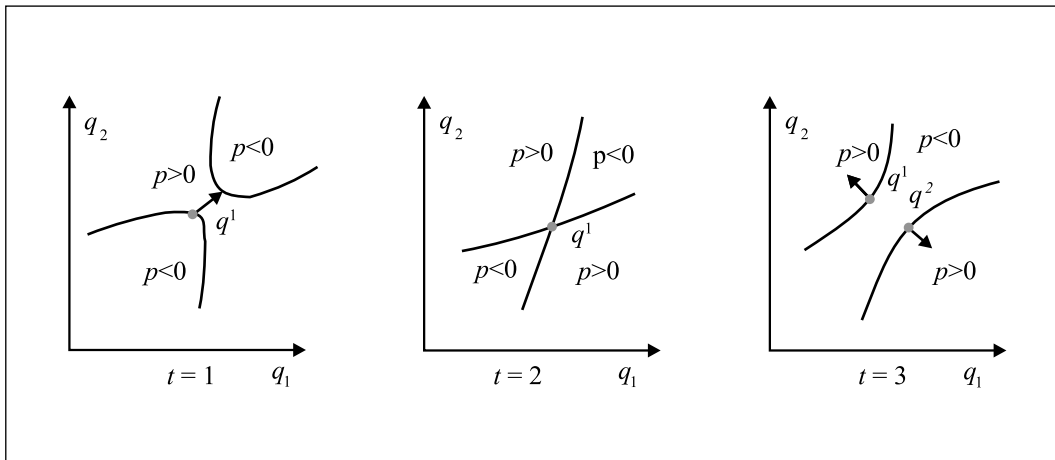


Betrachten wir nun den Fall, dass es zwei verschiedene Ordnungsparameter gibt. Es gibt dann ganz neue Möglichkeiten für die Bildung getrennter Gruppen. Eine besonders wichtige Variante wurde in Abbildung 8 dargestellt: Ein einheitliches Gebiet mit positiver Fitness $p > 0$ wird lokal durch Annäherung an einen „Sattel“ eingeschnürt. Man kann sich das ganz bildlich vorstellen als einen Höhenzug mit Sattel, der bei steigendem Wasser in zwei Höhenzüge zerfällt. Es gibt dann plötzlich keinen Weg mehr, der von einem Hügel zum anderen führt. Im übertragenen Sinne heißt das, aus einer einheitlichen Gruppe haben sich plötzlich zwei Gruppen gebildet, die sich weiter ausdifferenzieren und dadurch voneinander entfernen. Ein Beispiel für einen sozialen Prozess wäre etwa die Einführung einer Arbeitsteilung zwischen zwei Gruppen. Aus geometrischen Gründen aus Sicht der Modellierung braucht man dazu mindestens zwei Ordnungsparameter. Mit anderen Worten: Gruppendifferenzierung, die mit Arbeitsteilung einhergeht, erfordert mindestens zwei relevante Ordnungsparameter.

Wir gelangen zu der grundsätzlichen Aussage, dass die Kompetenzentwicklung wesentlich von der Anzahl der Ordnungsparameter abhängt, die an dem Prozess beteiligt sind. Das ist auch bereits in die Alltagserfahrung eingegangen: Man spricht z. B. davon, dass man ein Problem „umgehen“ kann. Im Sinne von G_O_E_THE erfordert das mindestens zwei Ordnungsparameter.

Abbildung 8

Beispiel für die gleichzeitige Herausbildung von sozialen Gruppen.



Eine ursprünglich einheitliche Gruppe teilt sich durch eine einfache Verschiebung ihrer sozialen Merkmale in zwei getrennte Gruppen auf. Solche Prozesse können etwa bei der Arbeitsteilung zwischen zwei Gruppen beobachtet werden.

5 Modellierung von Kompetenzen in Kompetenz- und in Problemräumen – Kompetenzen als Objekt und als Instrumentarium evolutionärer Suche – Kompetenzentwicklung durch Erfahrungszuwachs in einer metaphorischen Simulation

Im Folgenden entwickeln wir zwei verschiedene Modelle, in denen das oben entwickelte Landschaftsbild einer evolutionären Suche jeweils die Grundlage bildet. Die oben eingeführten vier Grundkompetenzen stellen dabei den Ausgangspunkt für eine Formalisierung und mathematische Beschreibung dar.

Im ersten Modell nehmen wir an, dass ein Individuum sein Kompetenzprofil durch Entwicklung seiner „phänotypischen“ Kompetenzeigenschaften verändert. Zum Beispiel kann die Beherrschung von Computern, der Erwerb einer Fremdsprache, Management und Kommunikationstraining dazu führen, dass in bestimmten Situationen jeweils auf eine unterschiedliche Kombination von Kompetenzen zurückgegriffen wird.

Im zweiten Modell stellen wir uns vor, dass Kompetenzentwicklung den Prozess der Problemlösung begleitet. Problemlösen wird als etwas Ähnliches wie Wandern in einer hügeligen Landschaft oder besser wie Bergsteigen verstanden.

In beiden Modellen ist das Individuum metaphorisch gesprochen ein „Bergsteiger“,. Dieser Bergsteiger, bzw. eine ganze Gruppe von Bergsteigern, bemüht sich stets, den nächsten Gipfel zu erklimmen. Ohne die Aussicht lange zu genießen, strebt er von dort immer neuen, höheren Gipfeln zu. So wie es im Bergsport den Wettbewerb zwischen den Alpinisten gibt, in dem meist der Schnellere den Lorbeer erringt, so soll auch in einer speziellen Variante unseres Modells (Kapitel 7) die Geschwindigkeit, mit der die Gipfel erreicht werden, eine besondere Berücksichtigung finden. Dabei geht es uns insbesondere um den Prozess des Erwerbens von Kompetenz im sozialen Kontext.

Beiden Interpretationen gemeinsam ist der Gedanke einer evolutionären Suche in einer komplexen Landschaft. Der Zusammenhang von Kompetenz und Raum legt eine Visualisierung der Systemdynamik nahe. Im Laufe des Projekts entstanden verschiedene Visualisierungen von Kompetenzentwicklung. Einige resultierten aus Simulationen, mit denen numerisch das Lösungsverhalten der verschiedenen Modelle erkundet wird (*Evolino, Brown'sche Agenten*), andere stellen Visualisierungen von Konzepten dar, wie das Konzept des Raums und der Bewegung im Raum (*metaphorische Simulation*), wiederum andere waren das Resultat einer

intensiven Diskussion um die Rolle von emergenten, durch Selbstorganisation entstandenen Strukturen und deren Darstellung in einem Computerspiel (*SynKom*). Im abschließenden Teil dieses Kapitels (5.3) soll in die sogenannte *metaphorische Simulation* eingeführt werden. Zunächst aber stellen wir die Verbindung zwischen Landschaftsmodellen und Kompetenzentwicklung dar. Wir benutzen dabei die beiden vorher eingeführten Modellsichten: 1. Kompetenzentwicklung als Suche im Kompetenzraum und 2. Lernen als kompetenzgesteuerte, evolutionäre Suche im Problemraum.

5.1 Kompetenzen als Ordner – Kompetenzentwicklung von Individuen und Gruppen – Kompetenzen als Objekte der evolutionären Suche

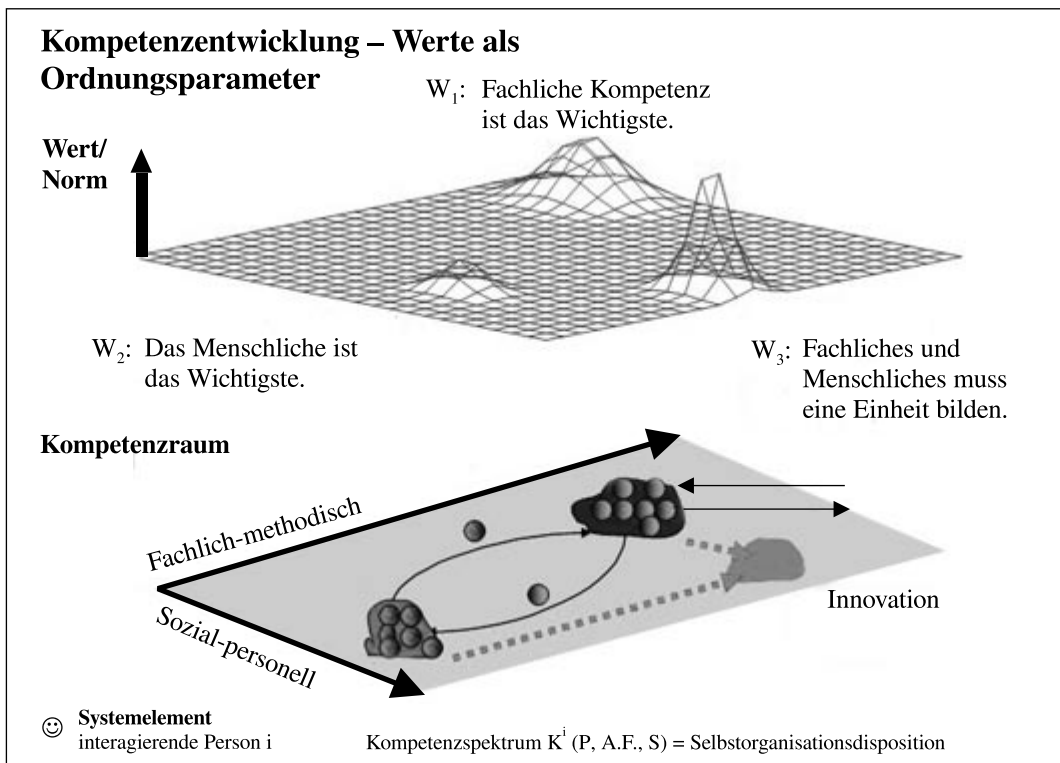
In einem früher entwickelten Modell diskutierte einer der Autoren (Scharnhorst 1999), dass man in Gruppen Kompetenzen oder Kompetenzprofile, die verschiedene Werte und Normen darstellen, beobachten kann. Die Norm, in einer Lernsituation auf fachlich-methodische Kompetenzen zurückzugreifen, kann in einer Gruppe durch eine bestimmte Anzahl von Personen repräsentiert werden. Sie kann mit der Norm konkurrieren, in Lernsituationen sozial-kommunikativ zu agieren, oder mit einer Mischung von sozialer Kompetenz und aktivitätsbezogener Kompetenz. In dem damaligen Modell stellten wir uns vor, dass in einer Gruppe verschiedene Kompetenzprofile oder Kompetenztypen zunächst koexistieren, dann miteinander konkurrieren und letztlich ein Kompetenztyp für die Gruppe dominant wird. Diesen dominanten Kompetenztyp haben wir als Ordner (Ordnungszustand) des Systems bezeichnet. Er stellt eine Norm dar, der sich die anderen Gruppenmitglieder anpassen.

Mathematisch wurde in dem früheren Modell ein populationsdynamischer Ansatz benutzt. Das entspricht (siehe Kapitel 4.2) einem sogenannten diskreten Ansatz. In einer Gruppe von Individuen werden verschiedene Untergruppen unterschieden, die für jeweils unterschiedliche Normen und Werte stehen. Individuen können sich für eine Norm entscheiden und dabei von einem Kompetenztyp zu einem anderen übergehen. Schließt das Modell auch „unbesiedelte“ oder „leere“ Untergruppen im Sinne von möglichen Kompetenztypen ein, kann auch das Entstehen eines neuen, innovativen Kompetenztyps im Sinne eines Übergangs von Individuen zu dieser neuen Untergruppe modelliert werden.

Bei dem diskreten Ansatz werden abzählbar viele Gruppen bzw. Untergruppen verwendet. Diese könnte man auch in einem Raum je nach ihrer Charakterisierung anordnen (Abbildung 9).

Abbildung 9

Modell der Interaktion von Individuen in einem System mit drei möglichen Kompetenztypen



Quelle: nach Erpenbeck/Scharnhorst: Zur Modellierung von Kompetenzen, Vortrag auf der 12. Herbstakademie, Jena Oktober 2004, siehe <http://www.virtualknowledgestudio.nl> (→ Members → Scharnhorst → Current activities)

Der Schritt von dieser Darstellung zu einem kontinuierlichen Modell ist dann nur noch klein. In unserem neuen erweiterten Modell wird jedes Individuum durch eine Anzahl von Merkmalen, Kompetenzmerkmalen beschrieben. In diesem Fall stellt der Phasenraum (oder Merkmalsraum) das Kompetenzspektrum der Gruppe dar, die Achsen des Raums entsprechen verschiedenen Kompetenzen, die unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Im einfachsten Fall handelt es sich um einen vierdimensionalen Raum der Grundkompetenzen. Es ist aber auch möglich, feinere Klassifizierungen einzuführen und die Anzahl der Merkmale entsprechend zu erweitern. Eine Verbesserung des Kompetenzprofils beinhaltet nicht automatisch, dass alle Kompetenzen gesteigert werden. In anderen Worten: Ein Laufen entlang der Achsen zu höheren „Kompetenzwerten“ bedeutet nicht eine Erhöhung der allgemeinen Kompetenz. In dieser Art der Modellierung hängt die allgemeine Bewertung (der Wert, der sich in der Gruppe herausbildet) von dem gleichzeitigen, aufeinander abgestimmten Einsatz verschiedener Kompetenzen ab.

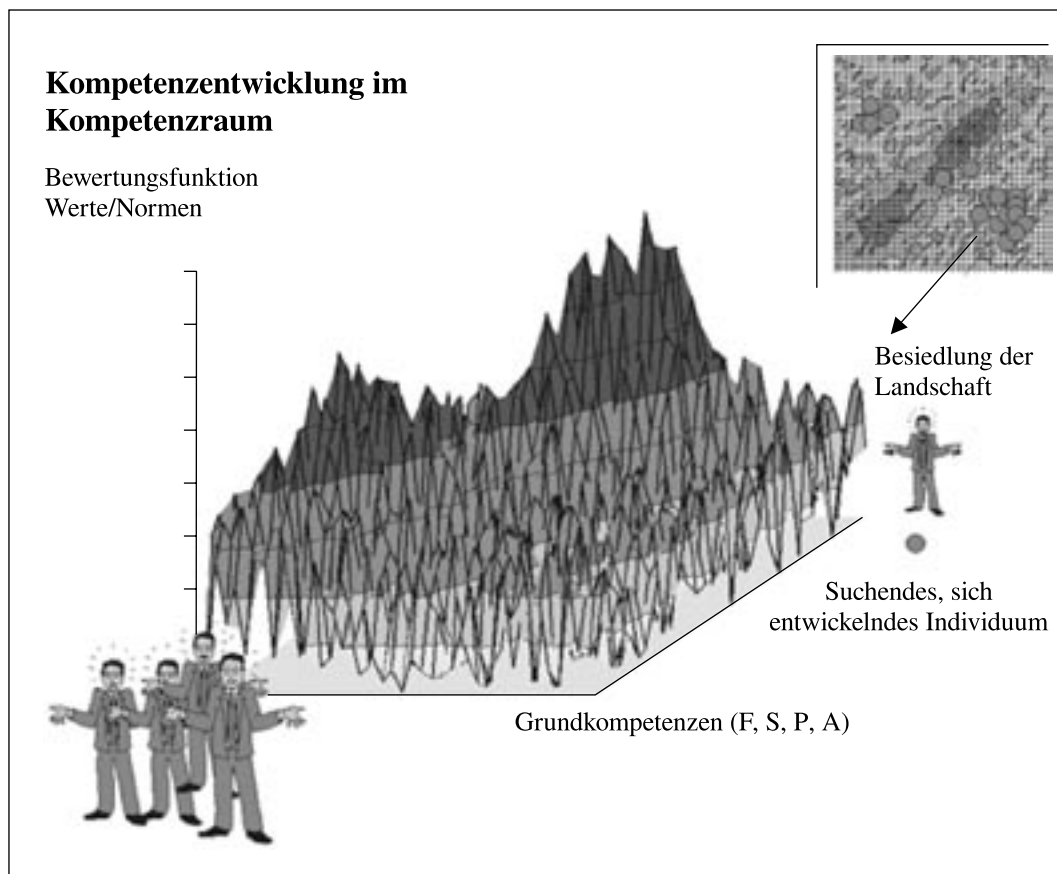
Die Individuen einer Gruppe werden in der Regel verschiedene Kompetenzprofile aufweisen, d. h. die Gruppenmitglieder halten sich an verschiedenen Orten des Kompetenzraums auf. Gleichzeitig kann man davon ausgehen, dass die Kompe-

tenzprofile der Gruppenmitglieder nicht wahllos im Raum möglicher Kompetenzspektren verteilt sind. Normen und Werte innerhalb einer Gruppe sorgen dafür, dass sich Gruppennormen auch bezüglich des Verwendens bestimmter Kompetenzen auf der individuellen Ebene durchsetzen. Das heißt in unserem Landschaftsbild, dass bestimmte Gruppenmitglieder sich um ein bestimmtes Kompetenzprofil herum gruppieren werden. Dieses Gruppenprofil oder der Durchschnittswert der Gruppe entsprechen dem Kompetenztyp im diskreten Modell. Es stellt den Ordner dar. Die Besiedlung des Kompetenzraums durch einzelne Individuen oder Agenten schafft eine Besiedlungslandschaft.

Die Gruppe versucht in einem Lernprozess, sich auf einen Wert (oder eine Norm) zu verständigen und ein „optimales“ Kompetenzspektrum zu bilden.

Abbildung 10

Suchende Agenten in einer Kompetenzlandschaft



Entsprechend dem Landschaftsbild der Evolution, das wir im vorangegangenen Kapitel eingeführt haben, gehen wir auch hier davon aus, dass den unterschiedlichen Orten im Kompetenzraum eine Bewertung gegeben werden kann (Abbildung 10). Abhängig von der jeweiligen Anforderungssituation beim Lernen wird sich die eine oder andere Kombination als günstiger und sinnvoller erweisen. Diese Bewertung wird zum Teil objektiv, außerhalb der Gruppe, definiert werden, etwa

wenn die Gruppe externen Anforderungen genügen muss. Sie kann aber teilweise auch intern durch Eigenbewertung erfolgen. Für das Modell ist dabei zunächst nur wichtig, dass eine solche Bewertungsfunktion in einer komplexen Gestalt existiert.

Der Lernprozess zielt in diesem Modell auf eine Veränderung der eingesetzten Kompetenzen hin; das Individuum lernt, seine Kompetenzen individuell und als Mitglied der Gruppe verschieden zu handhaben. Die Elementarprozesse der evolutionären Suche beinhalten:

- den Vergleich der Kompetenzen verschiedener Gruppenmitglieder bezüglich ihrer Bewertung (Fitness) und individuelle Entscheidungen, bessere bzw. besser angepasste Kompetenzprofile zu übernehmen (Selektion),
- das (zufällige) Ausprobieren verschiedener Kompetenzvarianten (Mutation) und
- gegebenenfalls den Vergleich der Besiedlung bestimmter Kompetenzprofile und individuelle Entscheidungen, die häufiger auftretenden Profile zu übernehmen (Imitation).

Mit dieser Formalisierung wird die Kompetenzentwicklung selbst zum Ziel eines Suchprozesses. Die Gipfel der Bewertungslandschaft entsprechen den Zuständen im System, die stabil sind und auf die unsere Suchagenten als Ziele zulaufen. Sie ziehen die suchenden Individuen an. Ziel des Suchprozesses ist es, ein möglichst hohes Maximum zu besiedeln, d. h. ein Kompetenzprofil in der Gruppe als Norm zu etablieren, das einer gegebenen Lernsituation am besten entspricht.

Die Trajektorie eines suchenden Individuums im Laufe der Zeit markiert eine individuelle Entwicklungs- oder Handhabungsstrategie von Kompetenzen. Elementarprozesse wie Selektion und Imitation stehen für gruppenorientierte Strategien, während die Mutation einer rein individuell basierten Strategie entspricht.

Die mathematische Formulierung dieses Modells wird im nächsten Kapitel behandelt. Zunächst werden wir uns einer alternativen Formalisierung von Kompetenzen in einem solchen evolutionären Landschaftsbild widmen.

5.2 Kompetenzen als evolutionäre Mechanismen in einem Problemlösungsprozess – Kompetenzen als Instrumente der evolutionären Suche

In der Literatur zur Rolle von Kompetenzen wird darauf hingewiesen, dass diese insbesondere dann eine Rolle spielen, wenn die Lernsituation offen ist (Erpen-

beck/Weinberg 1992). Die Theorie des selbstorganisierten Lernens geht nicht von einem linearen Kettenmodell des Wissenstransfers vom Lehrer zum Schüler aus, sondern legt den Schwerpunkt auf die aktive Rolle des lernenden Individuums. Selbstorganisiertes Lernen tritt immer dann auf, wenn Probleme unter Unsicherheit gelöst werden müssen. Die Unsicherheit kann dabei sowohl das Ziel des Lernprozesses (Lernen mit offenem, selbst zu definierendem Ziel) als auch den Prozess des Lernens (Wie erreiche ich ein bestimmtes Ziel?) betreffen. In dem Fall, dass das Lernziel nicht konkret vorgegeben ist, sondern nur Erwartungen an den Lernprozess gestellt werden, werden die Gruppenmitglieder gezwungen, auf das ganze Spektrum ihrer Kompetenzen zurückzugreifen. Erpenbeck nennt als ein typisches Beispiel für eine solche Situation die einer Werbefirma, die für einen Kunden einen Werbeauftritt entwickeln soll, wobei zunächst völlig offen ist, wie dieser aussehen soll; nur dass er überzeugend und schön sein muss, wird als Kriterium für den Suchprozess benannt.

Solche Situationen treten nicht allein in der Wirtschaft auf, sondern kennzeichnen generell kreative Prozesse. In solchen Situationen kommt der Kompetenz eine spezifische Rolle zu. Auch werden hierbei verschiedene Kompetenzen gebraucht. Insbesondere sind neben den Fachkompetenzen soziale und persönliche Kompetenzen gefragt. Diese Spezifik des selbstorganisierten Lernens ist intensiv für Problemlösungsprozesse in Firmen und für Lernprozesse in der betrieblichen Weiterbildung diskutiert worden. Der Rolle von Kompetenzen in anderen kreativen Arbeitssituationen, etwa in der wissenschaftlichen Forschung, ist dagegen bisher wenig Aufmerksamkeit zuteil geworden.

Andererseits steht die Untersuchung von Problemlösungsprozessen im Mittelpunkt der Wissenschaftsforschung (*science studies*). Eine wichtige Rolle spielt dabei die Darstellung von Forschungsfronten und Wissensbereichen als Netzwerke und Karten, auf denen sowohl der Standort moderner Forschung, die zunehmende Verzweigung von Forschungsgebieten auf Grund von Spezialisierung und die zunehmende Vernetzung zwischen den Akteuren (Wissenschaftlern) abgebildet wird. Die Visualisierung von sogenannten *knowledge domains* (Chen 2003) stellt heute ein eigenständiges Forschungsgebiet dar. Dessen Resultate werden im Sinne der Datenauswertung (*data mining*) auch für strategische Entscheidungen über Forschungsinvestitionen herangezogen (VxInsight; Börner/Chen/Boyack 2002). Gemeinsam ist den Visualisierungsbemühungen, dass damit Problemräume sichtbar gemacht werden. Auch die Entwicklung von neuen Technologien ist mit Lernprozessen verbunden. Technologieentwicklung steht beispielhaft für Lernprozesse in komplexen Systemen. Ein anderer Prozess ist die Einführung neuer Instrumentarien in die wissenschaftliche Praxis wie zum Beispiel die Entwicklung wissenschaftlicher Datenbanken. In allen diesen Fällen lassen sich die Entwicklungsprozesse im Sinne einer Problemlösung interpretieren. Solche Problemräume können im Sinne phänotypischer Merkmalsräume interpretiert werden (Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1990, Scharnhorst

2001). Der Problemlösungsprozess wird dann als Prozess der evolutionären Suche im Sinne unseres Landschaftsbilds interpretiert.

Diese Literatur beeinflusste die Bildung eines zweiten Modellansatzes, bei dem Kompetenzen nicht das Objekt der evolutionären Suche sind, sondern in Mechanismen derselben übersetzt werden.

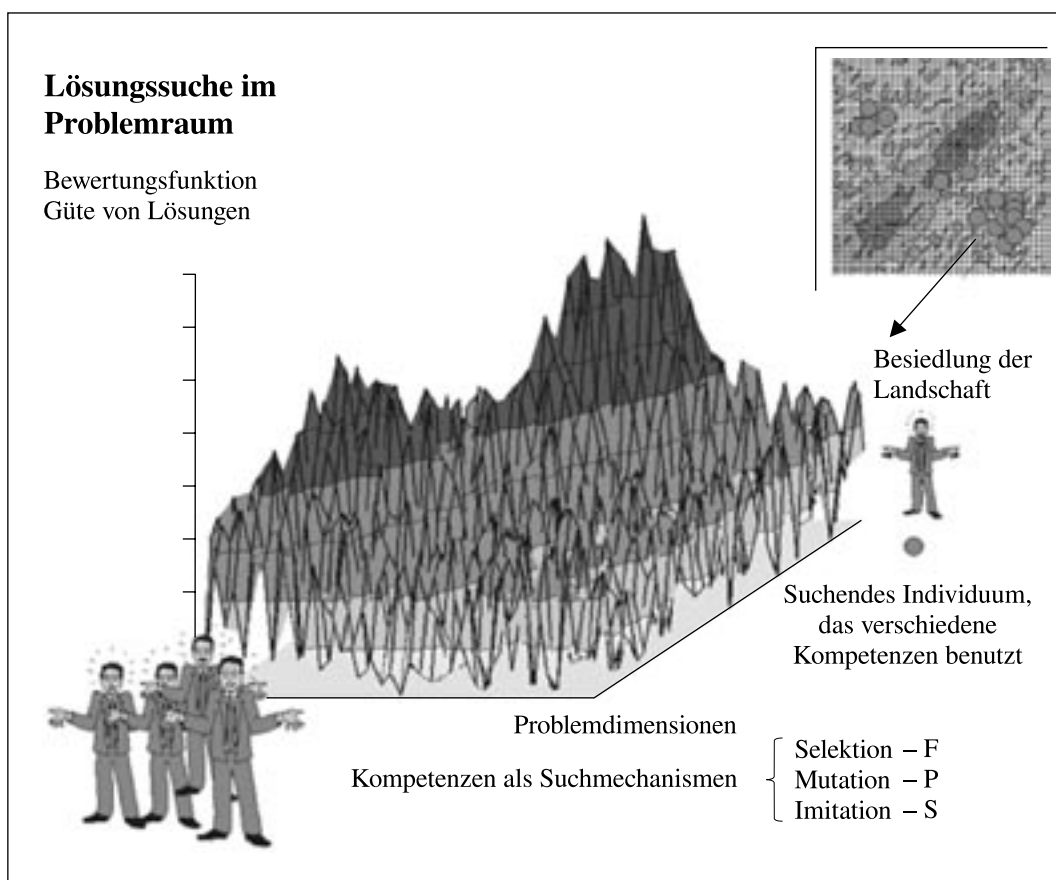
Die Rolle von Kompetenzen im wissenschaftlichen Problemlösungsprozess ist nach unserer Kenntnis der Literatur bisher nicht diskutiert worden. Auf der anderen Seite gibt es eine breite Literatur über die Bedingungen des Forschungsprozesses, die sich anderer Konzepte und Begriffe bedient. So ist in der Wissenschaftsforschung intensiv diskutiert worden, dass für eine erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit erst ein gemeinsames Fundament im Sinne einer Überschneidung von Konzepten, eines gemeinsamen Sprachgebrauchs oder einer gemeinsamen Verständigung allgemein geschaffen werden muss. Die Konzepte der „*trading zones*“ („Handelszonen“ stehen für Orte im übertragenen Sinne, an denen verschiedene Konzepte und Theorien miteinander ausgehandelt werden, vgl. Galison 1997.) oder der „*validation boundaries*“ (Der Begriff der „Wertegrenzen“ betrifft den unterschiedlichen Gültigkeitsbereich von Theorien und Konzepten, vgl. Fujigaki/Leydesdorff 2000, Fujigaki 2001.) stehen für theoretische Ansätze, die versuchen, das Entstehen von Innovationen an den Grenzen wissenschaftlicher Disziplinen oder zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit verständlich zu machen.

Für unser Modell gehen wir zunächst davon aus, dass der Merkmalsraum ein Raum der Probleme ist. Probleme können durch Schlüsselwörter beschrieben werden, und man kann sich vorstellen, dass diese Schlüsselwörter einen hochdimensionalen Merkmalsraum bilden. Die Häufigkeit, mit der Schlüsselwörter in einer Problembeschreibung auftauchen, stellt eine Art Wichtung oder Skalierung eines Schlüsselworts dar. Ein Vektor von Wordhäufigkeiten ist eine Möglichkeit, ein Problem zu charakterisieren und grafisch in einem Ort darzustellen (Chen 2003). In der Literatur wird oft auf das *literary model* der Wissenschaft zurückgegriffen, um Probleme darzustellen. Das heißt, es sind Produkte der wissenschaftlichen Kommunikation wie wissenschaftliche Artikel oder Patente, die in solchen Räumen dargestellt werden (Leydesdorff 1995). Einem Punkt in einem solchen Merkmalsraum entspricht dann etwa ein bestimmter wissenschaftlicher Artikel. Für unser Modell ist es wesentlich, dass die Akteure oder Agenten selbst dargestellt werden. Wir nehmen daher an, dass ein bestimmter Ort im Problemraum, d. h. eine bestimmte Formulierung eines Problems, der Sicht eines oder mehrerer Individuen auf das Problem entspricht. Man kann sich etwa vorstellen, dass durch Befragung oder Analyse von Dokumenten über die Autorenschaft von mündlichen und schriftlichen Äußerungen Individuen zu Problemen oder besser Problemdarstellungen zugeordnet werden können. In einem solchen individualisierten Problemraum steht eine Ortsveränderung für eine veränderte Problemsicht der Akteure.

Wir gehen weiter davon aus, dass eine Bewertungsfunktion über dem Problemraum definiert werden kann. Diese Bewertungsfunktion drückt aus, ob ein bestimmtes Problem gelöst werden kann und welche Güte diese Lösung hat. Bei dieser Darstellung nehmen wir an, dass manche Problemlösungen besser als andere sind. Die Lösung eines Problems wird damit mit einer bestimmten Formulierung des Problems gleichgesetzt. Wir nehmen dabei an, dass die Veränderung der individuellen Problemwahrnehmung einem Problemlösungsprozess folgt. Mit anderen Worten, die Suche nach möglichst guten Lösungen wird als Suche nach möglichst guten Problemdefinitionen formuliert.

Abbildung 11

Kompetenzen als Mechanismen einer evolutionären Problemlösungssuche



Evolution von Kompetenz wird als begleitender Prozess bei der kollektiven Suche wechselwirkender Populationen nach lokal besseren Lösungen in einem hochdimensionalen phänotypischen Phasenraum (Problemraum) beschrieben. Kompetenzen sind dann Parameter, die in Form von Randbedingungen einen Problemlösungsprozess begleiten. Die bereits eingeführten Elementarprozesse der evolutionären Suche – Selektion, Mutation und Imitation – werden jeweils der Anwendung spezifischer Kompetenzen zugeordnet (Abbildung 11).

Die Elementarprozesse der evolutionären Suche beinhalten:

- den Vergleich der Problemdefinitionen verschiedener Gruppenmitglieder bezüglich ihrer Lösbarkeit (Fitness) und individuelle Entscheidungen, bessere Lösungen zu übernehmen (Selektion). Wir gehen davon aus, dass bei einem solchen Vergleich vor allem auf fachlich-methodische Kompetenzen zurückgegriffen wird.
- das (zufällige) Ausprobieren verschiedener Problemdefinitionen und Lösungsvarianten (Mutation). Wir gehen davon aus, dass hier vor allem personale Kompetenzen eine Rolle spielen.
- gegebenenfalls den Vergleich der Besiedlung bestimmter Problembereiche und individuelle Entscheidungen, die häufiger in einer Gruppe vorrangig vertretenen Problemansichten, d. h. Lösungsvorschläge zu übernehmen (Imitation). Wir gehen davon aus, dass hierbei besonders auf sozial-kommunikative Kompetenzen zurückgegriffen wird.

Die vorgeschlagene Zuordnung von Grundkompetenzen zu Evolutionsmechanismen (Einsatz personaler Kompetenz = Mutation; Einsatz fachlich-methodischer Kompetenz = Selektion; Einsatz sozial-kommunikativer Kompetenz = Imitation) kann sicher noch weiter hinterfragt werden. Ebenso wie sich in Handlungen von Personen letztlich immer verschiedene Kompetenzen mischen, sind Kompetenzen auch bezüglich einer evolutionstheoretischen Modellierung nicht völlig voneinander trennbar. Der selektive Vergleich verschiedener Problemansichten kann zum Beispiel beinhalten, dass über diese verschiedenen Positionen auch kommuniziert wird. Da bei diesem Vergleich aber im Gegensatz zur Imitation eine Bewertung der Problemdefinition erfolgen muss, gehen wir davon aus, dass dafür fachlich-methodische Kompetenzen zentral sind. Anders ist die Situation bei einem imitativen Vergleich. Hierbei wird die Häufigkeit, mit der zwei bestimmte Problemsichten in der Gruppe vertreten sind, miteinander verglichen. Dies setzt vor allem Kompetenzen voraus, bei denen die Gruppe in ihrer Unterschiedlichkeit wahrgenommen wird, also sozial-kommunikative Kompetenzen.

5.3 Operationalisierung von Kompetenz und Lernen, Visualisierung in einem interaktiven Spiel – metaphorische Simulation

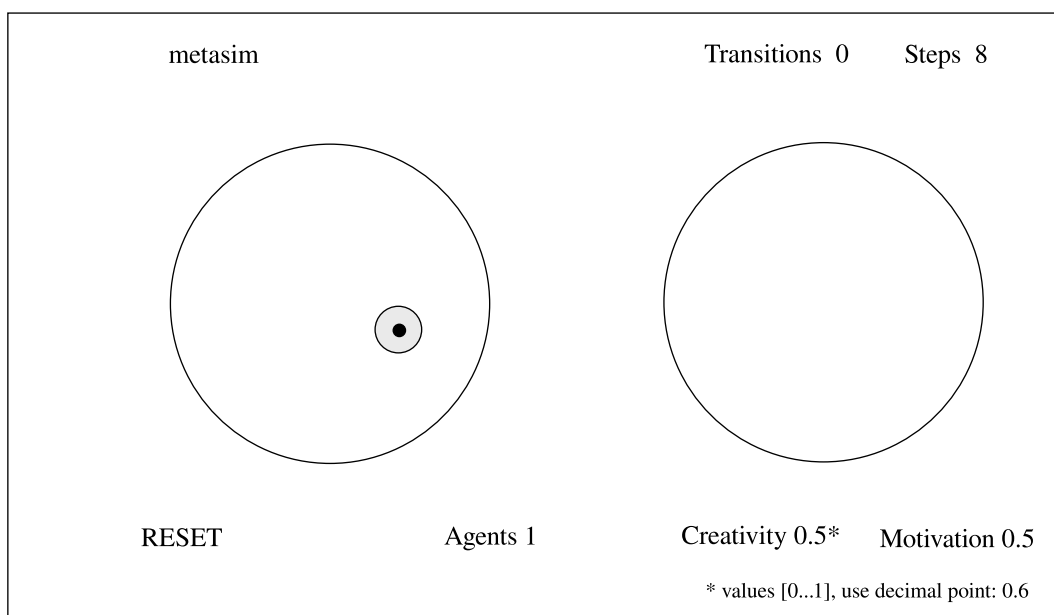
Beide verschiedene Modellansätze verbinden Kompetenzen mit Bewegungen in einem abstrakten Raum. Im Verlauf des Projekts setzten wir Simulationen ein, um bestimmte mathematische Gleichungssysteme zu lösen. Beispiele dafür werden wir in Kapitel 7 darstellen. Diese Simulationen erzeugen Visualisierungen, wie zum Beispiel in Abbildung 5 und 6 gezeigt. Das Ausführen dieser Simulationen setzt in

der Regel voraus, dass der Benutzer ein ausführbares Programm auf der Basis von FORTRAN oder einer anderen Programmiersprache starten lassen kann.

Ein Ziel unserer Arbeiten am Projekt bestand darin, interaktive Simulationen zu erzeugen, die auch ohne Vorwissen in Programmiersprachen zu bedienen sind. Die Suche nach einer anschaulicheren Visualisierung, einer interaktiven Gestaltung und der konzeptionellen Darstellung von Konzepten wie Raum und Bewegung im Zusammenhang mit Kompetenzen führte zu einer ganzen Reihe von Simulationen, die in unterschiedlichem Maße an die mathematischen Modelle gebunden sind. Dazu gehört auch eine völlig neue Art von Simulation, die zunächst von Thomas Hüsing vorgeschlagen und in einem Diskussionsprozess schließlich in eine Endversion gebracht wurde. Wir nennen diese Simulation eine metaphorische, weil sie vor allem das Konzept darstellt und nicht Gleichungen des mathematischen Modells numerisch löst. Ein alternativer Name ist „Kompetenzentwicklung durch Erfahrungszuwachs“. Im Folgenden beschreiben wir den Ansatz dieser Simulation.

Abbildung 12

Startbild der metaphorischen Simulation „Kompetenzentwicklung“



Mit dieser Simulation sollen bestimmte Konzepte der individuellen Kompetenzentwicklung und ihrer Bedeutung für Lernprozesse in Gruppen dargestellt werden. Die metaphorische Simulation greift dabei Ideen einer Evolutionsdynamik in Landschaften auf und visualisiert bestimmte Konzepte, ohne die mathematischen Gleichungen direkt numerisch zu lösen. Basierend auf einer Reihe von einfachen Regeln kombiniert mit Zufallselementen werden Erkenntnisse der Kompetenzforschung visuell umgesetzt. Interaktive Elemente erlauben es, die Konsequenzen bestimmter konzeptioneller Vorstellungen auf die individuelle und Gruppendynamik spielerisch zu testen. Abbildung 12 zeigt das Startbild der Simulation.

5.3.1 Kurzbeschreibung der metaphorischen Simulation

Auf dem Bildschirm sind zwei Kreise zu sehen. Sie symbolisieren jeweils einen bestimmten Erfahrungsbereich. Die Akteure oder Agenten starten immer im linken Erfahrungsbereich. Jedes Individuum wird durch einen kleinen Kreis mit einem schwarzen Zentrum dargestellt. Drei Parameter können eingegeben werden:

- die Anzahl der Individuen,
- Kreativität (die Häufigkeit mit der sie Ideen erzeugen: eine Zahl zwischen Null und Eins),
- die Motivationsstärke (eine Zahl zwischen Null und Eins).

Eine „Reset“-Taste startet das Spiel neu mit dem Anfangszustand von einem Agenten und beiden Parametern auf Null.

Verlässt ein Agent den alten Erfahrungsbereich und geht zu dem neuen über, so wird dieser Übergang in einem Fenster links oben gezählt und das Individuum wird mit einem kleinen schwarzen Strich markiert. Beide Erfahrungskreise können über das Spielfeld verschoben werden. Damit können Übergänge auch manuell ausgelöst werden.

Bestimmte Aktionen werden akustisch begleitet. Töne sind mit der Eingabe einer Gruppe von Agenten, der Entstehung einer Idee und mit einem Übergang verbunden.

5.3.2 Konzept der metaphorischen Simulation (mit Thomas Hüsing)

Wir gehen von einer Gruppe von Personen aus. Die Anzahl der Gruppenmitglieder kann dabei eingegeben werden. Es ist auch möglich, mit einer einzelnen Person zu experimentieren. Die Gruppe von Personen bewegt sich in einem Raum, wobei verschiedene Bereiche dieses Raums unterschiedliche Erfahrungen, unterschiedliche Problemlösungen, unterschiedliche Normen und Werte symbolisieren können. Jedes Individuum startet mit einem bestimmten Satz von persönlichen, sozialen, fachlich-methodischen und Handlungskompetenzen und wird durch einen kleinen Kreis um einen Punkt in dem Raum dargestellt.

Personen sind nicht statisch, sie reflektieren und handeln beständig. Dies wird als Bewegung der Punkte in dem Raum visualisiert. Wir nehmen dabei an, dass Handlungen zielorientiert ausgeführt werden. Wir gehen weiterhin davon aus, dass die Ziele intern und individuell festgelegt werden. Wir werden später darauf einge-

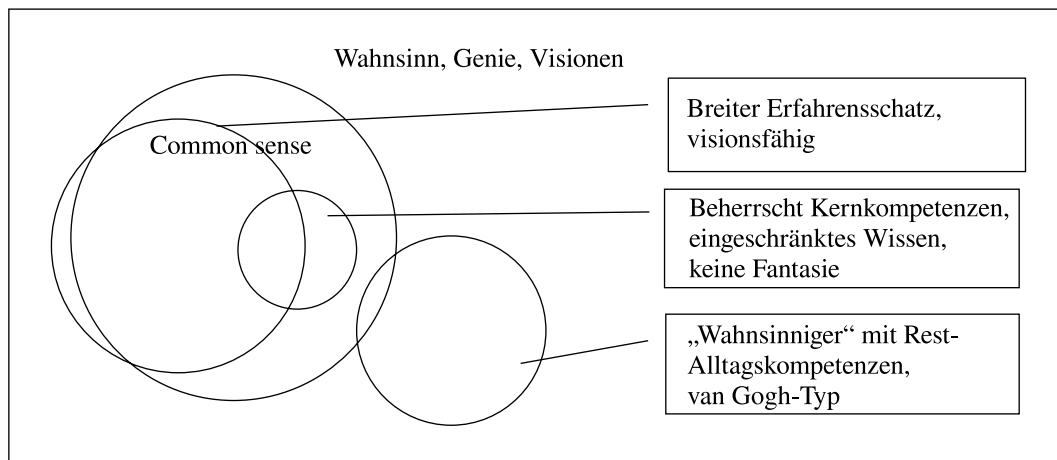
hen, wie eine solche Zielsetzung mit einer externen Zielvorgabe zusammenhängen kann.

Die Personen bewegen sich zunächst in einem bestimmten Erfahrungsbereich. Dieser Bereich stellt die Menge möglicher Zielkoordinaten dar, also Ziele, die von der Gesamtheit aller Individuen (innerhalb des entsprechenden Bezugsrahmens) gedacht und formuliert werden können. Somit entspricht er dem vorgegebenen Erfahrungsraum (sozial akzeptiertes Weltbild, Realitätsinsel, *Common sense*, Sinn).

Wollte man individuelle Unterschiede beobachten, so müsste jedes Teilchen seinen eigenen Erfahrungsraum (Kreis) mit Bezug auf den *Common sense* bekommen, was in dieser Simulation nur beim Prozess der Ideenfindung (Mutation) geschieht. Abbildung 13 verdeutlicht mögliche unterschiedliche Zielsetzungen der Personen. Der graue Kreis steht für „*Common sense*“, außerhalb des grauen Kreises liegen Ziele, die unentdeckte, nicht gedachte, visionäre, „wahnsinnige“ Erfahrungen darstellen. Rote, grüne und blaue Kreise symbolisieren individuelle Mengen möglicher Ziele, Entscheidungen.

Abbildung 13

Gruppenerfahrungsbereich (Gruppenordner = *Common sense*) und mögliche individuelle Bewegungsräume, die unterschiedliche Erfahrungsspielräume darstellen.



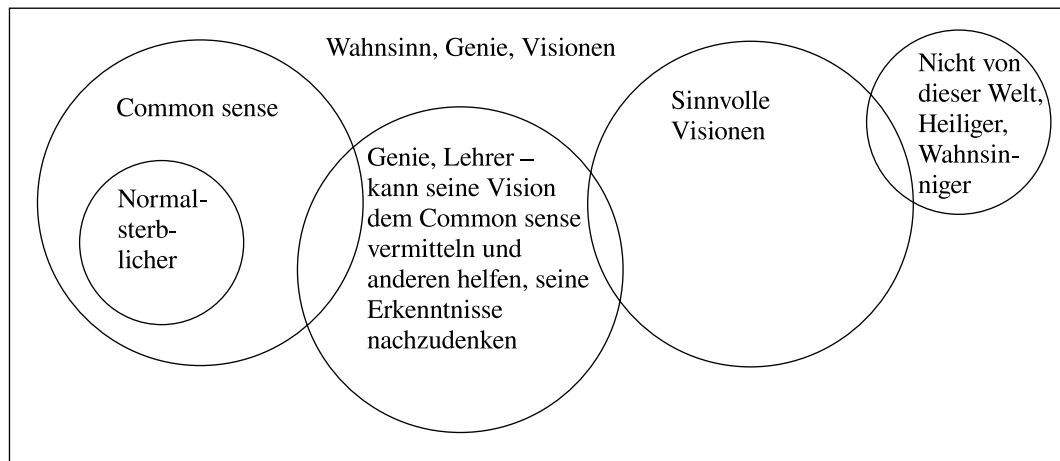
Zunächst gehen wir davon aus, dass sich jede Person Zielkoordinaten wählt, die über eine bestimmte Zeit t angesteuert werden. Die Zeit t ist die Aktivitätszeit und wird im Programm intern festgelegt. Die Auswahl dieser Zielkoordinaten soll entsprechend einem Prozess von Versuch und Irrtum erfolgen (*trial and error*) und wird technisch als Zufallsprozess realisiert Abbildung 14.

Diese Zielkoordinaten werden in Beziehung gesetzt zu einem definierten Bereich innerhalb des Raums (*Common sense*). Wir nehmen an, dass dieser Bereich ein Zentrum enthält, das von einem Einzugsbereich umgeben ist. Dieses Zentrum und

sein Einzugsbereich stehen für die aktuellen Erfahrungen, Problemlösungen oder Werte der Personen. In dem Raum ist daneben noch ein zweiter Erfahrungsbereich (sinnvolle Visionen) zu sehen, der am Anfang nicht besiedelt ist.

Abbildung 14

Auswahl von Zielen in Beziehung zum aktuellen Erfahrungsschatz (*Common sense*) und einer möglichen Erweiterung desselben (sinnvolle Visionen = neuer Erfahrungsbereich)



Grundbewegung

Die Personen starten ihre Erkundungsprozesse in einem bestimmten Bereich des Erfahrungsraums. Standardmäßig liegen die neuen Zielkoordinaten im Einzugsbereich bisheriger Erfahrungen. Ist der Bewegungsimpuls erschöpft ($t <$ als ein voreingestellter Parameter), wird die Distanz zu beiden Zentren überprüft. Wir nehmen dabei an, dass jeder Bereich wie ein Gravitationszentrum wirkt, das die Personen in seinem Bereich immer wieder anzieht. Am Beginn der Simulation ist die Auswahl von Zielen deshalb auch an dem Zentrum ausgerichtet, von dem aus die Personen starten. Durch einen grauen Kreis wird das in der Simulation verdeutlicht. Dieser Kreis stellt jedoch keine scharfe Grenze dar. Vielmehr können sich die Personen auch darüber hinaus bewegen, sind dann aber immer noch im Anziehungsfeld ihres bisherigen Erfahrungsbereichs.

Die Bewegung hin zu den selbst gewählten Zielen erfolgt abgebremst. Reibung wird auf die Bewegung angewendet, um einen „organischen“ Effekt zu erzielen. Durch diese geschwindigkeitsabhängige Darstellung symbolisieren wir, dass das Setzen von Zielen (Bestimmung der Zielkoordinaten) nicht automatisch mit ihrem Erreichen gleichzusetzen ist. Vielmehr bedarf es einer Anstrengung, das Ziel zu erreichen. Die Person wird dabei immer langsamer, je näher sie dem Ziel kommt. Auch nehmen immer wieder neue Zielvorstellungen den Platz der alten ein.

Nach einer gewissen Zeit orientiert sich die Person neu und strebt einem anderen Ziel zu. Zunächst ist dies als fester Parameter (Beharrlichkeit oder Reaktionszeit) vorgegeben, der die Möglichkeit eines weiteren Steuerparameters in sich birgt. So können für Personen unterschiedliche Beharrlichkeiten gewählt werden. Wird die Zeit verkürzt, dann wechselt die Aufmerksamkeit der Personen zwischen verschiedenen Zielen schnell. Eine solche Person reagiert schneller und setzt sich schneller Ziele. Da es auch eine gewisse Zeit erfordert, ein Ziel zu erreichen, führt eine kürzere Reaktionszeit gleichzeitig dazu, dass die Beharrlichkeit abnimmt. Das heißt, dass das Ziel unter Umständen gar nicht mehr erreicht wird. Eine langsamere Reaktion oder größere Beharrlichkeit führt zu einer stärkeren Annäherung an das Ziel. Eine übergroße Beharrlichkeit dagegen führt zwar dazu, dass die Person das Ziel immer genauer erreicht, aber seltener offen ist für neue Ziele, sie sitzt sozusagen in der Annäherung an das Ziel fest. Offenbar gilt es, ein Optimum zwischen Flexibilität (Reaktionsfähigkeit) und Beharrlichkeit zu erreichen.

Ziele werden nur im Wertebereich des aktuellen Weltbildes gewählt. Durch einen zweiten Prozess können die Ziele dennoch zu einem Bereich außerhalb der bisherigen Erfahrungswelt verschoben werden.

Im evolutionstheoretischen Bild entspricht diese Bewegung dem spontanen Entstehen einer Mutation, durch die die Position der Person im Erfahrungsraum verändert wird. Die Personen führen in der Regel Bewegungen aus, die sie in die Nähe ihrer bisherigen Positionen führen. Dem entspricht, dass Mutationen in der Regel kleine Veränderungen beinhalten. Momentan wird nicht die nächste Umgebung erkundet, sondern der Aktionsradius um den Parameter „Motivation“ erweitert. Die Idee einer allmählichen Erweiterung des Aktionsradius erscheint aber sinnvoll und subtiler. Um diesen Prozess zu einem echten Erkundungsprozess der Gruppe in der nächsten Umgebung zu machen, könnte man z. B. eine Abhängigkeit zwischen Aufenthalt im äußeren Gedankenraum (Kreisradius $- y$) und Mutation modellieren: Ist das Teilchen x -mal im äußeren Raum gewesen, so erweitert sich sein individueller Wertebereich möglicher Ziele (Kreisradius $+ y$), schichtweise tastet sich das Individuum weiter (Zwiebelmodell). In bestimmten Fällen kann es dazu kommen, dass die Wahl der Zielkoordinaten außerhalb des bisherigen Erfahrungsbereiches liegt. In diesem Fall kann man auch von seltenen großen Mutationen sprechen.

In dem bisherigen Bild liegen die Zielkoordinaten stets innerhalb des Ausgangskreises an Erfahrungen, Problemlösungen oder Werten.

Ideen und Visionen

In unserer Simulation ist das Zusammentreffen zweier Eigenschaften nötig, um einer Person das Verlassen des bisherigen Erfahrungsbereiches zu ermöglichen.

Die erste Eigenschaft nennen wir Willensstärke, Zielgerichtetheit, Ausdauer oder Visionskraft oder Motivation (mögliche weitere Assoziationen: Stärke, Wille, Ausdauer, Durchsetzungsvermögen, Budget, Treibstoff, Lebenskraft, Energie, Ressourcen). Wir nehmen dabei an, dass diese Eigenschaft den Suchradius um den bisherigen Erfahrungskreis erweitert. Technisch gibt der Wert der Motivation an, wie weit der Aktionsradius in den Bereich des neuen Erfahrungsbereichs reicht. Bei einer Motivation von 0.5 werden die neuen Ziele in der Regel an der Grenze zwischen beiden Einflussphären liegen, bei 0.8 liegen sie in einem Radius um das alte Zentrum, der 80 Prozent des Abstands zwischen beiden Zentren betrifft. Durch diese Erweiterung der Projektion der Ziele erreichen wir, dass die Person ihren Erkundungsradius erweitert und auch weiter entfernt gelegene Ziele trotz aller Widerstände (visualisiert durch die abgebremste Bewegung) doch erreicht.

Damit die Zielbestimmung auch innerhalb dieses erweiterten Suchraums liegt, bedarf es einer zweiten Eigenschaft *Kreativität*, die als Ereignis eines Impulses, einer Inspiration oder einer Idee (mögliche weitere Assoziationen: Geistesblitz, Inspiration, Spontaneität, spontane Mutation, Potential, Impuls) interpretiert wird.

Die Häufigkeit von Ideen wird zunächst für alle Individuen gleichzeitig geregelt – über den Parameter „Kreativität“. Damit beschreibt Kreativität also eher einen „Lernaufwand“. Man kann auch sagen, die „Kreativität“ ist der Aufwand, der betrieben werden muss, um eine Idee zu erzielen. Die Ideenfreudigkeit kann dabei einen Wert zwischen Null und Eins annehmen. Ist sie gleich Null, werden Ziele außerhalb des momentanen Zentrums nie in Betracht gezogen, ist sie gleich Eins, werden bei jedem neuen Bewegungsimpuls Ziele außerhalb des momentanen Zentrums und innerhalb des erweiterten Suchraums in Betracht gezogen. Das bedeutet, wenn mit einer Häufigkeit von 0,5 neue Ziele in dem „erweiterten Suchkreis“ anvisiert werden, wird statistisch alle zwei Versuche eine „neue“ Handlungsweise (im Sinne des Testens des erweiterten Suchkreises) ausgeführt.

Evolutionstheoretisch handelt es sich bei den Ideen um potentiell weitreichende Mutationen; wie weitreichend, liegt wiederum an der Stärke. In der Simulation wird ein solches Ereignis (Auftreten einer Idee) akustisch durch ein knackendes Signal angezeigt. Erst wenn eine Idee geboren ist, wird der Suchradius um den Parameter „Stärke“ erweitert und dann zufällig eine Zielcoordinate innerhalb dieses erweiterten Suchradius gewählt. Dahinter verbirgt sich die Interpretation, dass die Realisierung einer Vision einer Idee und Durchsetzungsvermögen bedarf. Kreativität und Motivation können unabhängig voneinander variiert werden. Ist die Motivation Null, können auch Ideen auftreten, gesucht wird dann nur im ursprünglichen Gebiet.

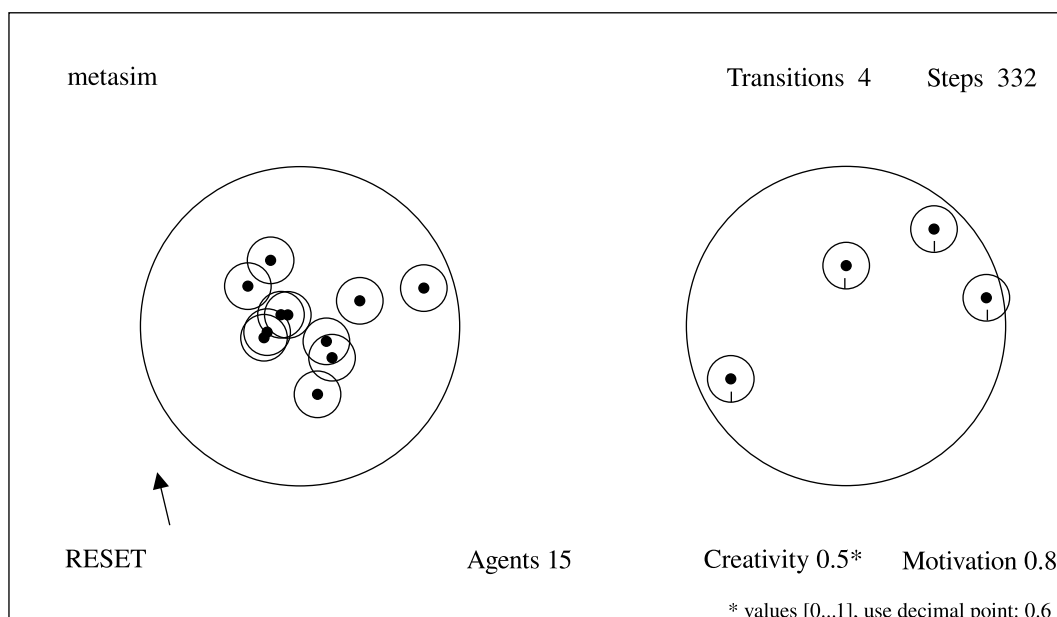
Mit der Wahl dieser zwei Eigenschaften (Prozesse), gesteuert durch die Parameter „Kreativität“ und „Motivation“, wollen wir den Zusammenhang zwischen Zielset-

zung, Zielverfolgung und Lernen veranschaulichen. Lernen wird dabei als Erreichen eines neuen Erfahrungsbereichs verstanden. Zielsetzung (Ideenfreudigkeit, Kreativität) und Zielverfolgung (Stärke, Motivation) sind Bestandteile der Grundkompetenzen. Man kann dabei die Zielverfolgung als aktivitätsbezogene Kompetenz verstehen und die Zielsetzung als persönliche Kompetenz. Ohne Wille und Zielgerichtetheit führt das Erreichen in Betracht genommener Ziele nicht über den bisherigen Erfahrungsbereich hinaus. Ohne Ideenfreudigkeit nützt auch die größte Anstrengung nicht, die Person wird ihren Erfahrungsbereich nicht verlassen können. In diesem Fall ist zwar der Suchradius theoretisch größer, aber es kommt eben nicht zu den Ideen, folglich derer die Suche dann auch in der Tat unternommen wird.

Ist Kreativität mit Motivation kombiniert, dann gelingt es der Person unter Umständen, den Einflussbereich der bisherigen Erfahrung zu verlassen und in den Einflussbereich einer neuen Erfahrung zu gelangen, also zu lernen. In der Simulation geht die Person dann in den Bereich des anderen Kreises über. Den Zugewinn an Erfahrungen visualisieren wir mit einem Strich in dem Kreis, der die Person symbolisiert. Akustisch wird ein solcher Übergang durch ein „Pling“-Signal dargestellt. An der Bildschirmoberkante werden alle „Wanderer“ zwischen Erfahrungswelten gezählt. Die Person kann in der Simulation den neuen Kreis auch wieder verlassen und in den alten zurückkehren. Danach kann sie sich erneut in den rechten, neuen Kreis aufmachen und das wird dann als Gewinn einer weiteren neuen Erfahrung interpretiert (Abbildung 15).

Abbildung 15

Zwischenspielstand mit 15 Agenten von denen vier gerade einen Übergang vollzogen haben.



Eine weitere mögliche Interpretation ist, zu sagen, dass die Person mit einem solchen Übergang eine Metakompetenz – selbstorganisatorisches Lernen – gezeigt hat. Die Metakompetenz resultiert aus einem Zusammenspiel verschiedener persönlicher Kompetenzen: Metakompetenz = Spontaneität (Ideen) + Ressourcen (Wille, Stärke). Die Person, die einen Lernprozess vollzogen hat, verändert sich auch bezüglich ihrer Parameter, ihre Kreativität nimmt zu.

Die Simulation erlaubt noch eine weitere Interaktion. Die zwei verschiedenen Zentren können mit der Maus bewegt werden und die in ihnen befindlichen Personen folgen der Bewegung ihres Erfahrungszentrums. Dazu muss man mit der Maus in den rechten oder linken Kreis klicken, die Maustaste gedrückt halten und bewegen. Mit der Bewegung eines neuen Erfahrungszentrums kann dann mit dem Zusammenhang zwischen der Distanz von zwei verschiedenen Erfahrungszentren, der Ideenfreudigkeit einzelner Personen und ihrer Willensstärke experimentiert werden. Wird die Distanz zwischen beiden Zentren größer, muss auch die Stärke der Motivation größer werden.

Die Bewegung eines Zentrums kann auch in dem Sinne interpretiert werden. Wenn der Prophet nicht zum Berg kommt, muss der Berg zum Propheten kommen. D. h. selbst wenn Kreativität und Motivation Null sind, kann man Teilchen trotzdem „einfangen“, indem man den neuen Erfahrungsbereich mit ihrem alten sich überlappen lässt.

So lässt sich metaphorisch der Zusammenhang von Fremd- und Selbstbestimmung in der Zielsetzung ausdrücken. Der zweite Erfahrungsbereich stellt ein „extern“ definiertes Ziel dar, dass die Personen durch individuelle Zielsetzungen kombiniert mit Grundkompetenzen erreichen sollen. Dieses externe Ziel kann verschieden weit von dem bisherigen Erfahrungsbereich entfernt liegen, und in Abhängigkeit von dieser Distanz sind spezifische Persönlichkeitsmerkmale gefragt, um eine neue Erfahrung zu machen. Man kann sich aber auch vorstellen, dass durch Verhandlungsprozesse zwischen den Teilnehmern der neue Erfahrungsbereich näher an den bisherigen herangerückt wird, indem etwa die neuen Lernziele zu dem bisherigen Gelernten in Beziehung gesetzt werden. Bisher kann dieses Heranrücken nur als äußerer Prozess dargestellt werden. Man könnte sich aber vorstellen, dass sich durch Gruppenprozesse (wie auch immer die dann visualisiert werden) diese Distanz im Spielablauf selbst verringert.

5.3.3 Grenzen und mögliche Erweiterung der metaphorischen Simulation

Alle Personen in der Simulation sind mit den gleichen Entwicklungsmöglichkeiten ausgestattet. Die Parameter, die eingegeben werden, sind Gruppenparameter, d. h.

sie legen fest, in welchem Maße bestimmte Eigenschaften im Mittel in der Gruppe realisiert werden. Die Zufallskomponenten bei der Auswahl der Individuen führen zu einer Individualisierung einzelner Profile, aber diese unterliegen immer noch den Gruppenparametern, die als Randbedingungen für jedes Individuum wirken. Erst beim Übergang zu einem neuen Bereich werden die Personen „individualisiert“. Ein anderer Ansatz wäre es, von vornherein jedem Individuum einen eigenen Parametersatz zu geben. Dieses Problem wird auch in den anderen Simulationen wiederkehren. Wir simulieren Gruppenprozesse, nicht die individuellen Prozesse. Der scheinbare Vorteil einer individuellen Modellierung führt zu einem starken Anwachsen der Dimensionalität der Parameterräume. Je mehr Parameter im Spiel sind, desto schwieriger wird es allgemein, Aussagen für Systemverläufe zu gewinnen. Für die metaphorische Simulation dient die Wahl der Parameter der Verdeutlichung eines bestimmten Konzepts. Wir zeigen etwa, welche Rolle der Zufall bei Erkundungsprozessen spielt. Das Spiel ist aber zu einfach, um überraschende Effekte zuzulassen. Dies ändert sich bei den anderen Simulationen, die eine größere Bandbreite möglichen Verhaltens haben. Hier ist die Idee, emergente, nicht vorhersehbare Eigenschaften (etwa einen Übergang und die Art, wie er vollzogen wird) durch kollektives Verhalten zu beschreiben, für das nur die Rahmenbedingungen festgelegt sind.

Eine weitere Einschränkung der metaphorischen Simulation besteht darin, dass die Individuen unabhängig voneinander agieren, ihre Zusammengehörigkeit wird nur mittelbar definiert, dadurch, dass sie alle ein und denselben Erfahrungsbereich teilen. Die Ideenfindung (Zielsetzung) und das Anstreben der Ziele erfolgt individuell. Von einer Gruppe von Personen würde man aber erwarten, dass sie miteinander interagieren. So könnte man sich vorstellen, dass die Gruppenmitglieder sich gegenseitig anziehen und dadurch eine soziale Kompetenz dargestellt wird. Führt eine solche Anziehung auch zu einer Abstimmung der individuellen Zielsetzungen, suchen die Personen dann in ähnliche Richtungen. Eine solche Kohärenz kann hilfreich sein, wenn eine „richtige“ Richtung eingeschlagen wird, hin zum dem neuen Erfahrungsbereich. Sie kann aber auch hinderlich sein, wenn die zuerst eingeschlagene Richtung wenig vielversprechend ist. Wieviele „Ausreißer“, die sich dem Gruppenzwang widersetzen, braucht eine Gruppe, um sich alle Suchrichtungen offen zu halten? Die Gruppenmitglieder, die den neuen Erfahrungsbereich erreicht haben, sollten eine Signalwirkung auf die anderen haben. Ihr „Gewicht“ für die Gruppe könnte dabei unterschiedlich sein (vielleicht persönliche Kompetenzen). Wir werden bei der Entwicklung von anderen Simulationen (*Evolino*, *SynKom*, *EvoKom*, *Brown'sche Agenten*), die nicht mehr metaphorisch angelegt sind, sondern sich auf konkrete mathematische Modelle beziehen, gerade diese Wechselwirkung in den Mittelpunkt stellen.

Verschiedene Kompetenzen werden bisher in Form von Kreativität und Motivation beschrieben. Offen bleibt, wie sich diese auf die Gruppe auswirken können. Zie-

hen die Ausreißer andere Gruppenmitglieder mit und verändern sie das Zentrum der Gruppe? In einer anderen, modellbasierten Simulation *SynKom* (siehe Kapitel 6.3.2) wird dem Rechnung getragen, in dem das Gruppenzentrum inhärent gebildet wird und sich auch verändert durch die Aktionen der Gruppenmitglieder.

Bei der metaphorischen Simulation handelt es sich vor allem um eine Visualisierung bestimmter Ideen und Konzepte wie Raum und Bewegung. Sie hat mit der mathematischen Beschreibung der evolutionären Suche wenig zu tun.

Im folgenden Kapitel kehren wir zurück zu dem im Kapitel 4 eingeführten allgemeinen Modellrahmen einer evolutionären Suche in einer Bewertungslandschaft über einem Problemraum und entwickeln die mathematischen Modelle, die diese Suche beschreiben, und Simulationen, die auf diesen Modellen beruhen.

6 Mathematische Modellierung der evolutionären Suche von Gruppen von Individuen in Merkmalsräumen

6.1 Beschreibung von Gruppen bzw. Populationen im Merkmalsraum

Der klassische populationsdynamische Zugang behandelt die Einheiten der Evolution als voneinander unterscheidbar und damit abzählbar und klassifizierbar. Jeder Einheit (Sorte) wird eine Nummer, d. h. eine natürliche Zahl $i = 1, 2, 3, \dots$ zugeordnet. Die Populationen – oder allgemein im Falle sozialer Systeme die Gruppen – bilden somit eine abzählbare Menge. Jede Gruppe i wird durch eine Mengengröße, d. h. eine quantifizierbare, zeitabhängige Größe – eine reelle Zahl $x_i(t)$ – charakterisiert. Das sind im Fall der evolutionären Ökologie die Dichten bzw. Anzahl der Individuen konkurrierender Arten (etwa in Räuber- und Beutesystemen), in der Theorie der molekularen Evolution chemische Konzentrationen verschiedener makromolekularer Sorten und im Fall von Innovationsdiffusion die Zahl (oder Fraktion) der Nutzer einer Technologie. Im Fall der Kompetenzmodellierung sind es Gruppen von Individuen, etwa Arbeitsgruppen in einem Unternehmen oder Gruppen mit ähnlichen Funktionen wie die Gruppe von Betriebsräten in verschiedenen Unternehmen. Innerhalb einer Gruppe ist die Kompetenz mehr oder weniger einheitlich, die räumliche Lokalisierung etwa am selben Ort ist nicht entscheidend, sondern die relative gleiche Kompetenz.

Die Synergetik bezeichnet diese quantitativen mengenartigen Größen als Ordner, die die Populationen auf der Makroebene repräsentieren. Die Zeitabhängigkeit der Ordner wird durch eine mathematische Abbildung, in der Regel dargestellt durch gewöhnliche Differentialgleichungen, definiert. Damit wird in einem gewissen Sinne von der Merkmalsstruktur der einzelnen Individuen in der Population und deren Veränderung abstrahiert und die Konkurrenz zwischen verschiedenen Populationen ins Zentrum gestellt. In der mathematischen Beschreibung führt dieser Ansatz zu Systemen nichtlinearer gewöhnlicher Differentialgleichungen.

In dieser Arbeit verwenden wir, wie in den vorigen Kapiteln begründet wurde, als Alternative zur Beschreibung durch Indizes $i = 1, 2, \dots$ in Übereinstimmung mit früheren Ansätzen (Ebeling/Engel/Feistel 1990, Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 1998) eine merkmalsorientierte kontinuierliche Beschreibung durch reelle Zahlen, Landschaften und kontinuierliche dynamische Modelle (partielle Differentialgleichungen).

Wie in unserem früheren Ansatz (Ebeling/Engel/Feistel 1990, Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 1998) verwenden wir zunächst eine Beschreibung der Population durch Merkmale, die durch einen reellwertigen Satz von d Variablen $\vec{q} = \{q_1, q_2, \dots, q_d\}$

charakterisiert werden. Damit wird ein abstrakter Merkmalsraum Q definiert. Wir fassen kurz die wesentlichen Züge des Modells zusammen:

Die einzelnen Merkmale q_i bilden die Koordinaten des Merkmalsraums Q , der die Dimension d hat. In der Regel liegen viele Merkmale vor, d. h. d ist eine große Zahl. In typischen Fällen liegt d in der Größenordnung von 100 bis 1000. Die Koordinaten q_1, \dots, q_d kennzeichnen die Ausprägung des jeweiligen Merkmals. Ein Punkt im Raum Q kennzeichnet somit den aktuellen Zustand eines Individuums durch seine Merkmalskonfiguration. Die Veränderung realisierter Merkmale führt zu einer Bewegung der entsprechenden Punkte analog zur Bewegung von Teilchen anhand zeitlich variierender Koordinaten im Ortsraum. Die Bewegung dieser Punkte wird im kontinuierlichen Modell nicht individuell beschrieben, sondern über eine Dichte-Funktion $x(\vec{q}, t)$. Die Dichtefunktion ist eine reellwertige nichtnegative Funktion über dem Raum Q , die eine komplizierte Struktur mit vielen Maxima besitzt. Die meisten Stellen im Q -Raum sind unbesetzt, d. h. die Dichtefunktion ist dort Null und nur an wenigen „günstigen“ Stellen liegen lokale Maxima der Dichtefunktion vor. Die Dichtefunktion $x(\vec{q}, t)$ tritt an die Stelle der diskreten Funktion $x_i(t)$. Populationen werden aus Gruppen von Elementen/ Individuen mit ähnlichen Eigenschaften gebildet, die räumlich einander benachbart sind. Eine Population entspricht geometrisch einem lokalen Maximum der Dichtefunktion. Die räumliche Anordnung der Populationen entspricht der Nähe oder Distanz ihrer Merkmalsstruktur. Die Dynamik von Populationen – i. S. einer Merkmalsverteilung – und ihre Variabilität entsprechen Veränderungen auf der Merkmalsebene, die durch die Zeitabhängigkeit der Funktion $x(\vec{q}, t)$ widerspiegelt wird. Man kann auch sagen, dass in einem solchen Merkmalsraum Merkmalskombinationen durch bestimmte Orte, Individuen durch realisierte oder besiedelte Orte, Populationen als lokale Anhäufungen solcher besiedelten Orte und Dynamik durch die zeitlichen Verschiebungen der lokalen Maxima charakterisiert sind.

Die Regeln der zeitlichen Veränderung der Besiedlung definieren die Systemdynamik. Diese wurde durch eine partielle Differentialgleichung für die Funktion $x(\vec{q}, t)$ bestimmt. Um die Evolutionsdynamik zu quantifizieren, wurde angenommen, dass sich die Merkmale verschiedener Orte hinsichtlich zusätzlicher Kriterien unterscheiden. Damit führten wir eine Bewertungsfunktion über dem Merkmalsraum der Kompetenzen ein, deren topologische Struktur mit der Systemdynamik verkoppelt wurde. Eine solche Bewertung – im einfachsten Fall durch eine skalare Funktion $w(\vec{q}, t)$ gegeben – ordnet jedem Raumpunkt einen Funktionswert zu, der ein Maß für die lokale Fitness ist. Die so eingeführte Bewertungsfunktion bildet eine Landschaft über dem abstrakten Merkmalsraum.

Dem Problem der Definition und Bestimmung einer Fitnessfunktion wird dadurch Rechnung getragen, dass diese als Zufallslandschaft mit bestimmten statistischen Eigenschaften dargestellt wird. Damit lassen sich Verbindungen zur Physik un-

geordneter Systeme (Anderson 1983) herstellen. Die verwendeten verschiedenen Modellzugänge hängen dabei auch von der Natur des Suchraums ab. Während in einem kontinuierlichen Suchraum (Zustands- oder Merkmalsraum der Kompetenzen) immer eine Metrik und damit sowohl ein Abstand zwischen Punkten als auch eine Schrittweite des Such- bzw. Mutationsprozesses definiert ist, können in diskreten Suchräumen verschiedene Nachbarschaften definiert werden (zum Zusammenhang zwischen Nachbarschaftsstruktur, Mutationsoperator und Fitnesslandschaft vgl. Rosé 1998).

6.1.1 Kompetenz- und Problemräume

Entsprechend den zwei unterschiedlichen Anwendungen dieses Modellkonzepts auf Kompetenzmodellierung haben auch die eingeführten Grundgrößen eine unterschiedliche Bedeutung (Tabelle 1).

Tabelle 1

Verschiedene Interpretationen des Merkmalsraums und der Wertelandschaft

Mathematisches Symbol	Abstrakte Bedeutung	Modell 1 Bedeutung für die Kompetenzentwicklung	Modell 2 Bedeutung für die Problemlösung
$q = \{\bar{q}_1, q_2, \dots, q_d\}$	Vektor der Merkmale	Satz von Grundkompetenzen (etwa skalierte Anteile nach KODE [®])	Merkmale des Problemlösungsverhaltens
$x(\vec{q}, t)$	Dichtefunktion; Häufigkeit der Besiedlung bestimmter Merkmale	Anzahl von Individuen mit einem bestimmten Kompetenzprofil bzw. deren Häufigkeit	Anzahl von Individuen mit einer bestimmten Problemsicht, Problemdefinition oder Problemwahrnehmung
$w(\vec{q}, t)$	Fitness- oder Bewertungsfunktion	Bewertung, Wert, Norm: drückt aus, wie gut ein bestimmtes Kompetenzprofil zu der Lösung einer Aufgabenstellung passt	Bewertung, Wert, Norm: drückt aus, wie gut das Problemlösungsverhalten eines Individuums ist bzw. wie gut die Problemsicht und die Fähigkeiten zur Lösung eines Problems sind (in gewisser Weise wird dabei „richtige“ Problemsicht mit Lösung gleichgesetzt)

Die Bewertungsfunktion $w(\vec{q}, t)$ hängt zunächst nur von den Merkmalen und der Zeit ab. In dieser Form ist sie nicht abhängig von der Besiedlung des Merkmalsraums. Das ist aber nicht identisch mit einer systemextern definierten Bewertungsfunktion. Vielmehr können die Werte und Normen auch intern von den Grup-

penmitgliedern bestimmt werden. Die Existenz der Bewertungsfunktion drückt aus, dass es neben der aktuellen Besiedlung von Merkmalen im Raum noch ein weiteres Kriterium gibt, das im Sinne einer Randbedingung den Suchprozess kontinuierlich begleitet. Im Fall der Kompetenzentwicklung drückt die Bewertungsfunktion Werte und Normen aus, von deren Existenz man bereits vor der Suche ausgehen kann, auch wenn deren Lage im Raum noch nicht bekannt ist. Ähnliches gilt für die Suche im Problemraum. Problemlösungen sind sicher sozial verhandelbar, es wird möglicherweise mehrere gleichwertige Lösungen geben. Die Wertigkeit von Lösungen aber hängt auch von externen, objektiven Kriterien ab.

In einer Erweiterung des Modells kann man sogenannte Lotka-Volterra-Systeme betrachten, dabei hängt die Bewertungsfunktion explizit von der Besiedlung ab $w(\vec{q}, x(\vec{q}, t))$ und verändert ihre Gestalt, je nachdem welcher Bereich im Merkmalsraum besiedelt wird. Eine solche Darstellung wird Prozessen in sozialen Systemen gerecht, bei denen die Wert- bzw. Normbildung integraler Bestandteil der Systemdynamik ist.

6.2 Evolutionäre Dynamik im Phänotypraum

In der bisher verwendeten kontinuierlichen Beschreibung wird jedem Punkt im Merkmalsraum der Kompetenzen Q (d. h. jedem Vektor $\vec{q} = \{q_1, q_2, \dots, q_d\}$ von Merkmalsvariablen q_k) eine Zahl (bzw. Häufigkeit) zugeordnet, die die Realisierung bestimmter Parameterkombinationen kennzeichnet. Damit wird eine Dichtefunktion $x(\vec{q}, t)$ über dem Merkmalsraum der Probleme definiert. Die Dynamik wird nun mit den Reproduktionseigenschaften bestimmter Merkmalskombinationen verbunden. Grundlegend ist der folgende Ansatz einer allgemeinen Evolutionsdynamik vom Darwin-Typ (Replikationsansatz, Feistel/Ebeling 1982, Ebeling u. a. 1984, Feistel/Ebeling 1989):

$$\partial_t x(\vec{q}, t) = w(\vec{q}, \{x\}) x(\vec{q}, t) + Mx(\vec{q}, t) \quad (1)$$

Dabei fungiert die Größe $w(\vec{q}, x(\vec{q}, t))$ als verallgemeinerte Fitnessfunktion. Sie beschreibt den Konkurrenz- und Selektionsaspekt der evolutionären Suchdynamik. Hängt w nur von den Merkmalen \vec{q} ab, so handelt es sich um eine stationäre Landschaft. Im nächsten einfachen Fall hängt w von den Merkmalen und (über einen sozialen Durchschnitt) von der Zeit ab, es gilt der Ansatz:

$$w(\vec{q}, \{x\}) = E(\vec{q}) - \langle E \rangle \quad (2)$$

Hierbei bezeichnen die eckigen Klammern $\langle E \rangle$ den sogenannten sozialen Durchschnitt (gemittelt über die Population):

$$\langle E \rangle = \frac{\int E(\vec{q}') x(\vec{q}, t) d\vec{q}}{\int x(\vec{q}, t) d\vec{q}}$$

Im (komplizierteren) Fall eines Fitnessfunctionals hängt die Bewertung eines Orts \vec{q} auch von der Besiedlung im gesamten Merkmalsraum der Kompetenzen ab. Eine Veränderung dieser Besiedlung $x(\vec{q}, t)$ führt auch zu einer Veränderung der Bewertung und eine Ko-Evolution zwischen Fitnessfunktion und Populationsdichte liegt vor. Ein Beispiel für eine solche Kopplung stellt der folgende Lotka-Volterra-Ansatz dar:

$$w(\vec{q}, x(\vec{q}, t)) = a(\vec{q}) + \int b(\vec{q}, \vec{q}') x(\vec{q}', t) d\vec{q}' \quad (3)$$

In diesem Fall setzt sich die Bewertung einer Merkmalskombination aus zwei Anteilen zusammen. Der erste Term in Gleichung (3) $a(\vec{q})$ stellt eine Bewertung der reproduktiven Aspekte der Merkmale dar. Der zweite Term beschreibt die Wechselwirkungen der Merkmale, d. h. den – über das ganze Raumgebiet integrierten und durch die Koeffizienten $b(\vec{q}, \vec{q}')$ gewichteten – Einfluss anderer besiedelter Orte. In diesem Fall spricht man von einer adaptiven Landschaft (Conrad 1978, Conrad/Ebeling 1992).

Im Spezialfall eines Delta-Funktions-Kerns kann man Gleichung (2) aus Gleichung (3) zurückerhalten. Die evolutionäre Dynamik wird dann als ein Suchprozess in einer sich ständig verändernden adaptiven Fitnesslandschaft verstanden. Es wurde gezeigt, dass diese Art der Modellbeschreibung von spezifischer Relevanz für sozio-technologische Systeme ist (Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 2001). In diesen bestimmen nichtlineare Rückkopplungen zwischen dem Handeln der Akteure auf der individuellen Ebene und Koordinations- und Bewertungsprozessen auf makroskopischer Ebene wesentlich die Systemdynamik.

Die Größe M in Gleichung (1) steht allgemein für einen Mutationsoperator. Der Elementarprozess der Innovation auf der Mikroebene liegt in der Besiedlung von Problemstellungen mit Merkmalen, die bisher nicht realisiert wurden.

Dieser Prozess der Besiedlung (bzw. Besetzung) bisher unbesiedelter Bereiche im Merkmalsraum der Probleme lässt sich als innovativer Suchprozess (Forschung und Entwicklung) auf der Mikroebene verstehen. Ob diese *elementaren Innovationsakte* auch zu einer globalen Systemveränderung (etwa im Sinne des Wechsels von Lokalisationszentren zwischen Maxima der Bewertungsfunktion) führen, lässt sich nicht von vornherein entscheiden. Im Modell 1 stellt jede Merkmalsveränderung eine veränderte Anwendung von Kompetenzen dar. Besiedlung neuer Merkmalsräume steht dabei für Kompetenzentwicklung. Im Modell 2 führt jeder Problemlösungsschritt zu einer neuen Definition von Problemen, das heißt zu einer Besiedlung anderer Orte im Merkmalsraum der Probleme. Wachstums- und Selektionsprozesse eines Suchprozesses in einer Gruppe führen zu einer Veränderung

der Gestalt der Besetzungsfunktion. Beschreibt man die elementaren Suchprozesse innerhalb und am Rande der um bestimmte Zentren konzentrierten Populationen in einer ersten Näherung als diffusionsartig:

$$Mx(\vec{q}, t) = D\Delta x(\vec{q}, t) \quad (4)$$

so werden zwei Eigenschaften deutlich. Zum einen erzeugt jede Ausdehnung des besiedelten Teils des Raums zunächst ein Anwachsen des Kompetenzspektrums (Modell 1) bzw. der Problemwahrnehmung (Modell 2) innerhalb der Population. In beiden Modellen ist damit eine Diversifizierung innerhalb der Gruppe verbunden. Die individuelle Variabilität erhöht sich. Verschiedene Kompetenztypen oder verschiedene Problemsichten koexistieren. Zum anderen bildet dieser Prozess die Grundlage für Re-Konzentrationsprozesse in neuen Bereichen des Merkmalsraums. Dabei geht die Erkundung neuer, konkurrenzfähiger Bereiche (Kompetenzen und Normen oder Problemlösungen) von den Rändern der bestehenden Populationen mittels eines undifferenzierten Suchprozesses aus. In der kontinuierlichen Beschreibung definiert die Systemdynamik – Gleichung (1) mit (2) und (4) – im einfachsten Fall eine zeitliche Variation der global definierten Besetzungsfunktion $x(\vec{q}, t)$ durch die partielle Differentialgleichung (Darwin-Dynamik, Darwin-Strategie)

$$\frac{\partial x(\vec{q}, t)}{\partial t} = x(\vec{q}, t) [E(\vec{q}) - \langle E \rangle] + D\Delta x(\vec{q}, t) \quad (5)$$

Die Fitnessfunktion ist eine in der Regel im Vorfeld unbekannte Landschaft, die u. U. auf Grund empirischer Befunde möglicherweise geschätzt werden kann und manchmal als zufällige Funktion mit bestimmten statistischen Eigenschaften modelliert werden kann (Ebeling/Feistel 1990). Die sich herausbildenden Zentren der Verteilungsfunktion $x(\vec{q}, t)$ folgen teilweise den Maxima der Bewertungsfunktion. Die Dynamik hängt sehr stark von den Annahmen über die Struktur der Fitnessfunktion ab. Einmal gebildet, kann man die (Lokalisations-)Zentren der Populationswolken als Analogon zu den diskreten Typen (als Ordner des Systems) behandeln.

Darüber hinaus aber bedarf die Beschreibung des Verschmelzens von Populationen, der Differenzierung in verschiedene Populationen und von Konzentrations- oder Expansionsprozessen keiner taxonomischen Erweiterung. Vielmehr sind alle diese Prozesse gleichermaßen Aspekte der Systemdynamik. Lokale Maxima entsprechen Zwischenschritten der Entwicklung. Die Vorteile dieser Beschreibung sind mit einer wachsenden Komplexität verbunden. Welche Beschreibung man wählt, hängt vom Fokus der Analyse des konkreten Systems und der mathematischen Behandelbarkeit ab.

Die durch Gleichung (5) definierte Dynamik ist problemlösend in dem Sinne, dass die Dichtefunktion $x(\vec{q}, t)$ im Laufe der Zeit die Maxima von der Bewertungs-

funktion $E(\vec{q})$ aufsucht. Da die Dynamik wesentlich auf dem Replikationsmechanismus beruht, sprechen wir auch von einer Dynamik vom Darwin-Typ bzw. von einer Darwin-Strategie. Eine alternative Dynamik mit ähnlichen Eigenschaften beruht auf der verwandten Gleichung

$$\frac{\partial x(\vec{q}, t)}{\partial t} = \nabla D \left[\nabla x(\vec{q}, t) - \frac{1}{\Theta} x(\vec{q}, t) \nabla E(\vec{q}) \right] \quad (6)$$

Diese Gleichung vom Diffusionstyp beschreibt eine Dynamik, die als Boltzmann-Dynamik oder Boltzmann-Strategie im Ortsraum bezeichnet wird (Asselmeyer/Ebeling/Rosé 1996 b). Die Größe Θ bezeichnet eine Art effektive Temperatur $\Theta = k_B T$ und ist ein Maß für die Mobilität (Schwankungsbreite um den Mittelwert). In einer sozialen Interpretation drückt sie die Veränderungsfreudigkeit der Individuen aus. Ist die effektive Temperatur hoch, sind Ortsveränderungen häufig und weitreichend.

6.2.1 Kompetenzentwicklung und Problemlösung

Im vorherigen Abschnitt haben wir verschiedene Mechanismen der evolutionären Suche eingeführt. Zentral sind dabei Selektion und Mutation. Selektion wird mit Hilfe der Bewertungsfunktion beschrieben. Je nach deren Gestalt werden Orte geringerer Bewertung verlassen, und Orte höherer Bewertung aufgesucht. Im Fall der biologischen Evolution spricht man von verschiedenen Reproduktionsraten von Merkmalen. Im Fall sozialer Suchprozesse treten Entscheidungsprozesse von Individuen für bestimmte Merkmale an diese Stelle. Die Gruppengröße bleibt dabei relativ konstant, zumindest in Fällen der Kompetenzentwicklung. Anders als in der technologischen Evolution oder wissenschaftliche Entwicklung spielen Wachstumsprozesse eine geringe Rolle. Die Gruppen, in denen Kompetenzentwicklung gemessen wird, sind von konstanter Größe. Umso wichtiger werden Prozesse des Übergangs. Die Besiedlung verändert sich, indem die Individuen andere Positionen im Merkmalsraum aufsuchen. Tabelle 2 beschreibt eine Interpretation der verschiedenen evolutionären Mechanismen für die beiden unterschiedlichen Modelle.

In beiden Modellen werden Kompetenzen unterschiedlich behandelt. Im Modell der Kompetenzentwicklung (Modell 1) sind die Kompetenzen die Variablen (Objekte) der evolutionären Suche (Abbildung 16).

Im zweiten Modellansatz der Suche in einem Problemraum sind dagegen die Kompetenzen den verschiedenen evolutionären Suchmechanismen zugeordnet. Kompetenzen sind hierbei die Instrumentarien der evolutionären Suche (Abbildung 17).

Tabelle 2

Verschiedene Interpretationen der dynamischen Suchprozesse in der Wertelandschaft

Mathematisches Symbol	Abstrakte Bedeutung	Modell 1: Bedeutung für die Kompetenzentwicklung	Modell 2: Bedeutung für die Problemlösung
$w(\vec{q}, \{x_j\})$ $= E(\vec{q}) - \langle E \rangle$	Bewertung (Selektion) erfolgt als Vergleich der aktuellen Position mit dem Gruppendurchschnitt	Eigenes Kompetenzprofil wird mit der Gruppennorm bezüglich Kompetenzen verglichen und gegebenenfalls verändert	Bei dem Vergleich der Wertigkeit verschiedener Problemlösungen werden vorrangig fachlich-methodische Kompetenzen und sozial-kommunikative Kompetenzen (Vergleich mit dem Gruppendurchschnitt) eingesetzt.
$w = a(\vec{q}) + \int b(\vec{q}, \vec{q}') x(\vec{q}', t) d\vec{q}'$ $a(\vec{q},)$ $b(\vec{q}, \vec{q}')$	<p>Bewertungsprozess mit zwei Anteilen</p> <p>beschreibt die Bewertung und die Entscheidung für ein bestimmtes Merkmal (Selektion)</p> <p>beschreibt Entscheidungsprozesse für Merkmale, in die die Besiedlung von Merkmalen an einer bestimmten Stelle oder verschiedenen Stellen eingeht (Imitation)</p>	<p>Entscheidung für ein bestimmtes Kompetenzprofil, Entscheidung Kompetenzen anders einzusetzen</p> <p>auf Grund des Wertes eines Kompetenzprofils</p> <p>weil andere Gruppenmitglieder bestimmte Kompetenzprofile vertreten</p>	<p>Entscheidung für eine bestimmte Problemlösung</p> <p>Die Güte der Problemlösung bestimmt die Entscheidung (Selektion) – fachlich-methodische Kompetenzen sind dafür relevant.</p> <p>Die Meinung anderer zu einer bestimmten Problemlösung (Imitation) bestimmt die Entscheidung, sozial-kommunikative Kompetenzen sind dafür zentral.</p>
$Mx(\vec{q}, t) = D\Delta x(\vec{q}, t)$	Mutation, beschreibt zufällige Suchbewegungen im Merkmalsraum	verschiedene Kompetenzprofile werden getestet, Kompetenzen werden spielerisch erweitert	Verschiedene Problemdefinitionen werden getestet, neue Problemdefinitionen werden erkundet, kreative Suche – personale Kompetenzen sind der Schlüssel für Kreativität.

Abbildung 16

Zusammenfassung der mathematischen Darstellung der evolutionären Suche im Kompetenzraum

Kompetenzen als Variablen

Mathematisches Modell

$$\partial_t x(\vec{q}, t) = \underbrace{[a(\vec{q}) + \int b(\vec{q}, \vec{q}') x(\vec{q}', t) d\vec{q}']}_{\text{Selektionsprozess}} \underbrace{x(\vec{q}, t)} + \underbrace{D\Delta}_{\text{Mutation}} x(\vec{q}, t)$$

$q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$ Kompetenzprofil {F, S, A, P}
 $x =$ Zahl der Individuen mit einem bestimmten Kompetenzprofil

Abbildung 17

Zusammenfassung der mathematischen Darstellung der evolutionären Suche im Problemraum

Kompetenzen als Parameter

Mathematisches Modell

$$\partial_t x(\vec{q}, t) = [a(\vec{q}) + \int b(\vec{q}, \vec{q}') x(\vec{q}', t) d\vec{q}']$$

Kompetenzen

Fachlich-methodisch	– individueller Bewertungsprozess
Sozial-kommunikativ	– Informationsaustausch über Bewertungen und Gruppennormen
Aktivität	– beeinflusst alle Entscheidungsprozesse
Personale	– Kreativität, Ausprobieren neuer Lösungen

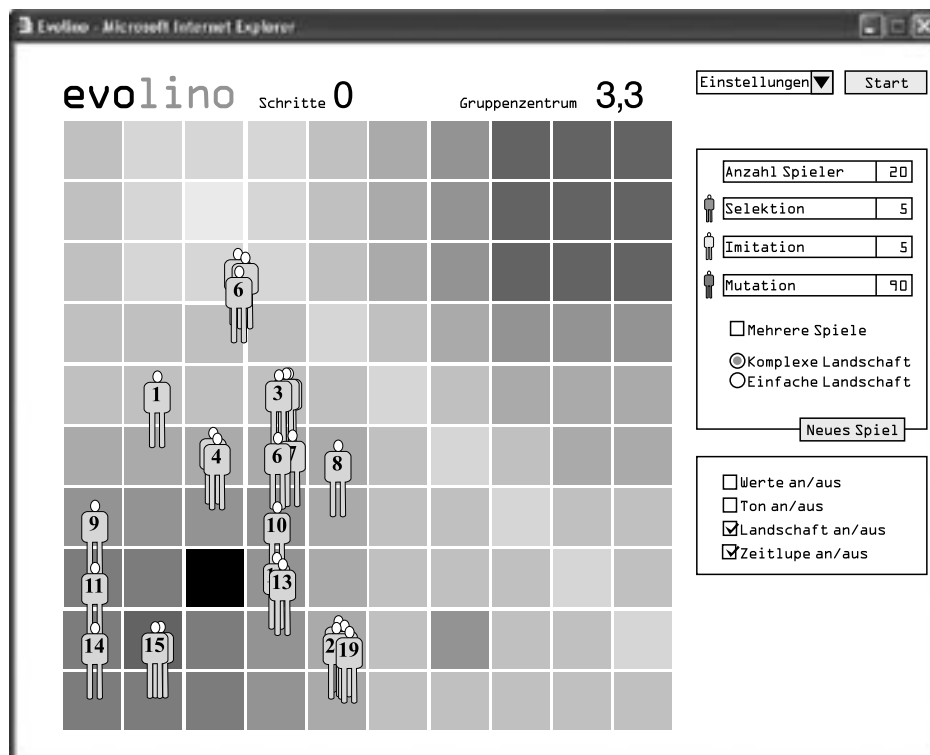
$\vec{q} = \{q_1, \dots, q_d\}$ Problembeschreibung
 $x =$ Zahl der Individuen mit einer bestimmten Problemsicht

6.3 Evolino – evolutionäre Suche auf einem Spielfeld – kompetenzgesteuertes Problemlösen

Die im Kapitel 6 eingeführten Gleichungen beschreiben die zeitliche Veränderung der Besiedlung. Allerdings sind diese Gleichungen nur in sehr eingeschränkten Spezialfällen analytisch lösbar. Computersimulationen sind eine Möglichkeit, die Gleichungen zu lösen. Die dazu benötigten Programme sind hoch spezialisiert, werden oft in Programmiersprachen wie FORTRAN oder C geschrieben. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Simulationen interaktiv zu gestalten. Wir entwickelten dabei zunächst eine Simulation, die eine stochastische Fisher-Eigen-Gleichung wie bereits eingeführt simuliert. Die Simulation, die wir Evolino genannt haben, greift dabei auf bestimmte Diskretisierungen des ursprünglich kontinuierlichen Modells zurück. (Das Programm kann online gespielt werden. Siehe URL <http://www.virtualknowledgestudio.nl> → Members → Andrea Scharnhorst → Current activities → Evolino) So beschreiben wir Suchagenten, der Merkmalsraum ist ein Spielfeld (Gitter) und auch die Bewertungslandschaft wird in Form von Balken verschiedener Höhe über dem Spielfeld dargestellt.

Abbildung 18

Startbild von *Evolino*

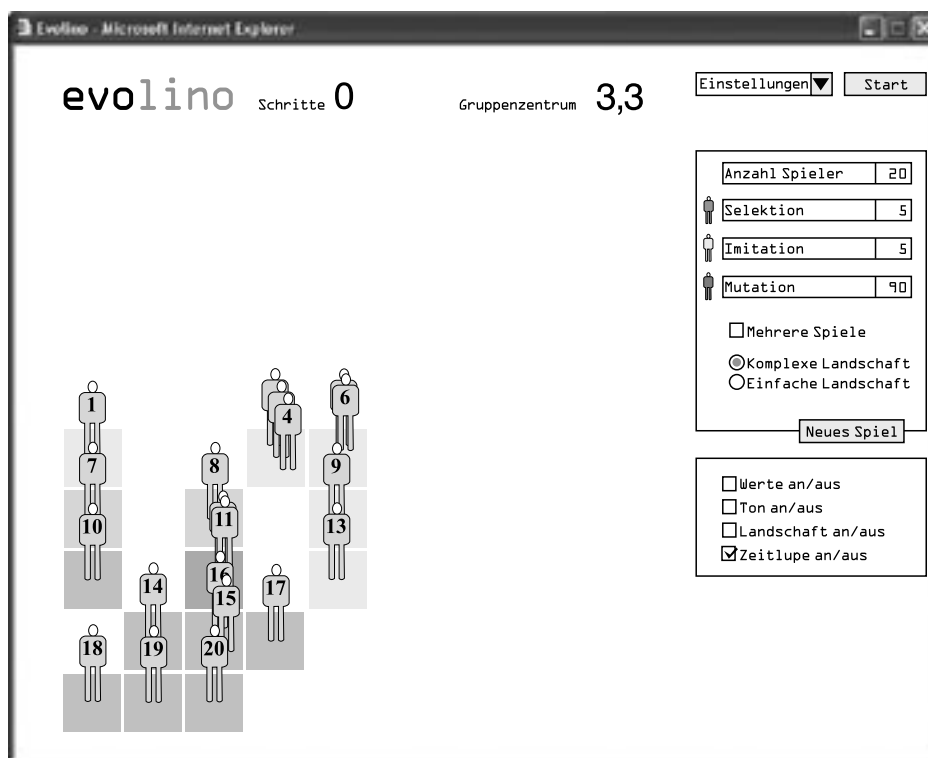


20 Spieler (Agenten) werden zufällig in der linken unteren Hälfte des Spielfelds verteilt. Die Parameter für Selektion, Imitation und Mutation können eingegeben werden. Der Mittelpunkt der Gruppe wird durch ein orangefarbenes Quadrat angezeigt, dessen Koordinaten oben in der Mitte angegeben werden. Eine Anzeige „Steps“ zählt die Spielschritte.

In seiner allgemeinen Form ist *Evolino* ein Evolutionsspiel von Agenten bzw. Individuen in einem Spielraum (Spielfeld=Merkmalsraum). Das Spielfeld von 10 x 10 Kästchen ist eine Diskretisierung des bisher kontinuierlichen Merkmalsraums. Über diesem Spielfeld ist eine Landschaft definiert. Diese wird durch die unterschiedliche Farbe der Kästchen markiert. Die Tiefe des Blautons (Grau in der Abbildung) entspricht dabei der Höhe der Landschaft (Abbildung 18). Ein Schalter (Werte an/aus) ermöglicht es, sich diese Werte auch anzeigen zu lassen. Wir haben im Wesentlichen mit einer Landschaft bestehend aus zwei Gipfeln und einem Zwischenmaximum gearbeitet. Ziel der Individuen ist es, das neue Maximum im rechten oberen Quadranten zu finden. Dabei ist den Individuen die Landschaft nur an den Stellen bekannt, an denen sie sich befinden. Durch den Schalter „Landscape on/off“ kann man darstellen, welchen Teil der Landschaft die Suchagenten sehen (Abbildung 19).

Abbildung 19

Bild der Landschaft in *Evolino*, wie sie die Spieler sehen. Sie gehen auf eine echte Suche nach dem unbekanntem neuen Gipfel.



Wie in Kapitel 4 eingeführt, folgt die Suche nach drei evolutionären Mechanismen. Diese Mechanismen werden als Verhaltensregeln für die Spieler festgelegt. Durch die Parametereingabe wird festgelegt, mit welcher Häufigkeit welcher Evolutionsmechanismus eingesetzt wird. Alle Parameter addieren sich zu hundert. Eine Parameterkombination von (Selektion, Imitation, Mutation) = (10, 10, 80) bedeutet, dass auf hundert Evolutionsschritte 10 Selektionsschritte,

10 Imitationsschritte und 80 Mutationsschritte kommen. Programmiertechnisch ist die Mutation der Grundschrift, der durch Selektion und Imitation unterbrochen wird.

- *Selektion* bedeutet, dass zwei Spieler zufällig ausgewählt werden, dann wird verglichen, wie hoch die Landschaft (Güte, Wert, Norm) an ihren Positionen ist, der Spieler von der schlechteren Position geht zu dem Spieler auf der besseren Position über. Haben beide gleich gute Positionen, erfolgt keine Aktion. Durch diesen Prozess können sich Spieler bewusst verbessern, d. h. höher gelegene Teile der Landschaft besiedeln.
- *Imitation* bedeutet, dass zwei Spieler zufällig ausgewählt werden, dann wird verglichen, wie stark ihre Positionen besiedelt sind, der Spieler von der weniger besiedelten Position geht zu dem Spieler auf der stärker besiedelten Position über. Sind beide Positionen gleich stark besetzt, erfolgt keine Aktion. Mit dieser Regel wird soziale Imitation als Nachahmung positiv besetzt. Viele Spieler auf einem Feld üben eine Anziehungskraft aus.
- *Mutation* bedeutet, dass ein Spieler zufällig ausgewählt wird und dann zufällig ein Nachbarfeld (oben, unten, links oder rechts) zu seiner Position ausgewählt wird, auf das er sich bewegt. Mit dieser Regel wird die Erkundung der Landschaft als lokaler Prozess modelliert. Die Mutation ist die einzige Regel, mit der neue Bereiche der Landschaft erkundet werden können (Innovation).

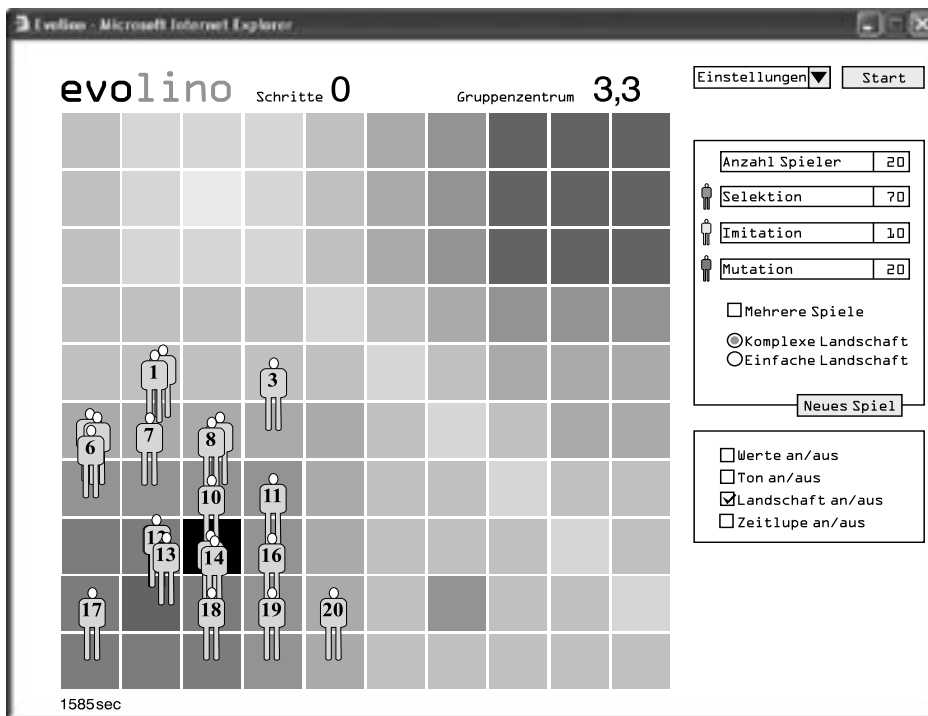
Als eine Randbedingung bei dem begrenzten Spielfeld wurden sogenannte reflektierende Wände angenommen, d. h. würden Bewegungen aus dem Spielfeld herausführen, werden die Spieler einfach wieder zurückgesetzt. Effektiv bleiben die Spieler stehen.

Mit den obigen Regeln ist ein Spiel geschaffen, das bei der evolutionären Suche dieselben Eigenschaften zeigt wie das kontinuierliche Modell. Es handelt sich dabei um eine Art zellulärer Automat, der sich von üblichen zellulären Automaten dadurch unterscheidet, dass er auch nichtlokale Prozesse bzw. Wechselwirkungen enthält (Selektion und Imitation) und dass eine Landschaft als zusätzliches Element über dem Raum definiert ist.

Der Parameterraum von *Evolino* ist groß genug, um verschiedene Spielverläufe zu erkunden. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass eine relativ hohe Selektion dazu führt, dass die Gruppe immer wieder um die bereits erreichten Gipfel in der Landschaft konzentriert wird. „Ausreißer“, die den Weg zu dem nächst höheren Gipfel durch das Tal wagen, werden relativ schnell wieder eingefangen (Abbildung 20, 21).

Abbildung 20

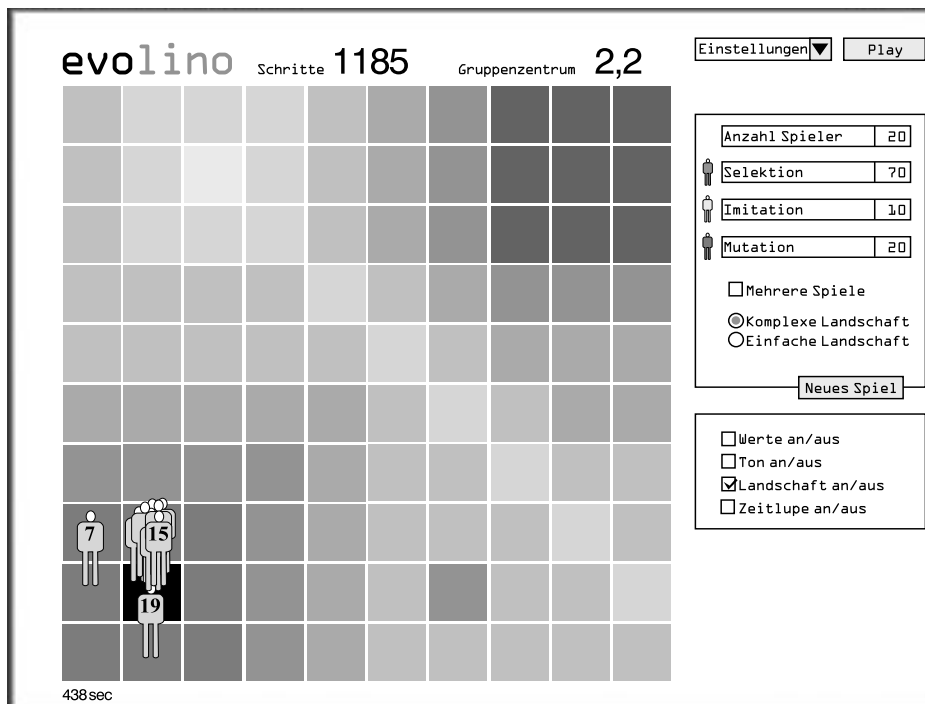
Spiel mit relativ hoher Selektionsrate: Startbild



Spiel mit relativ hoher Selektionsrate (70 vs. Mutation 20, Imitation 10): Von 100 Schritten werden im Durchschnitt 20 Mutationen, 70 Selektionsentscheidungen und 10 Imitationen durchgeführt.

Abbildung 21

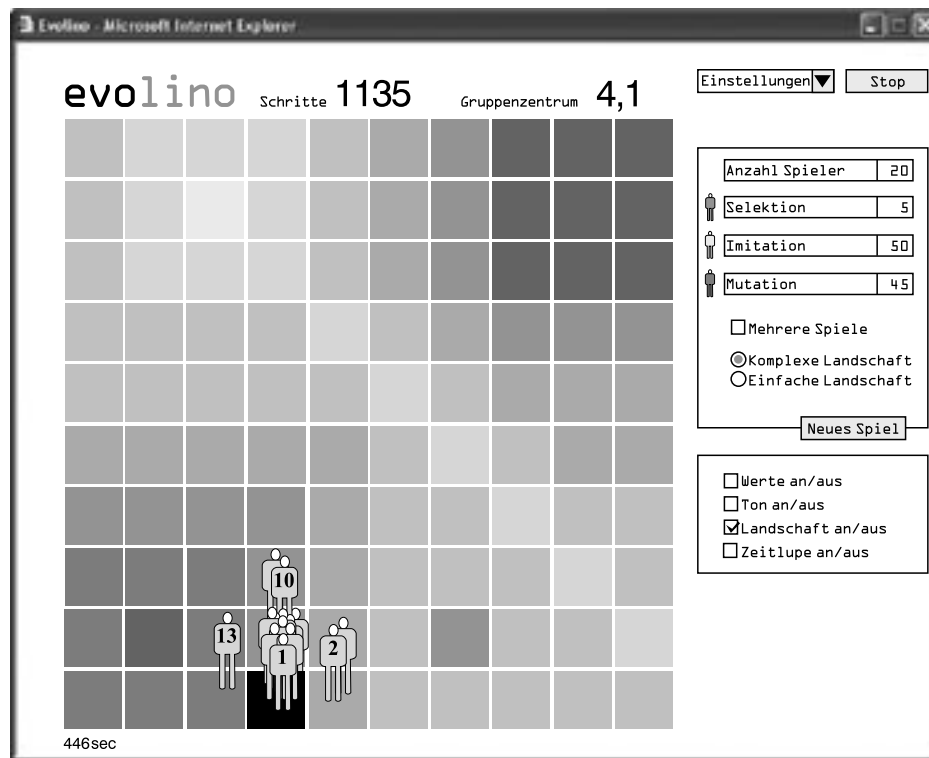
Spiel mit relativ hoher Selektionsrate: Spielstand nach ca. 1100 Schritten



Die Gruppe ist stark um den alten Gipfel zentriert und hat den neuen Gipfel nicht gefunden.

Abbildung 22

Spiel mit relativ hoher Imitationsrate (50): Spielstand nach ca. 1200 Schritten



Die Gruppe ist zentriert, aber nicht um einen Gipfel.

Hohe Mutationsraten dagegen führen dazu, dass sich alle Spieler weit auf dem Spielfeld verteilen, und die Gruppenbildung stark eingeschränkt wird (Abbildung 23).

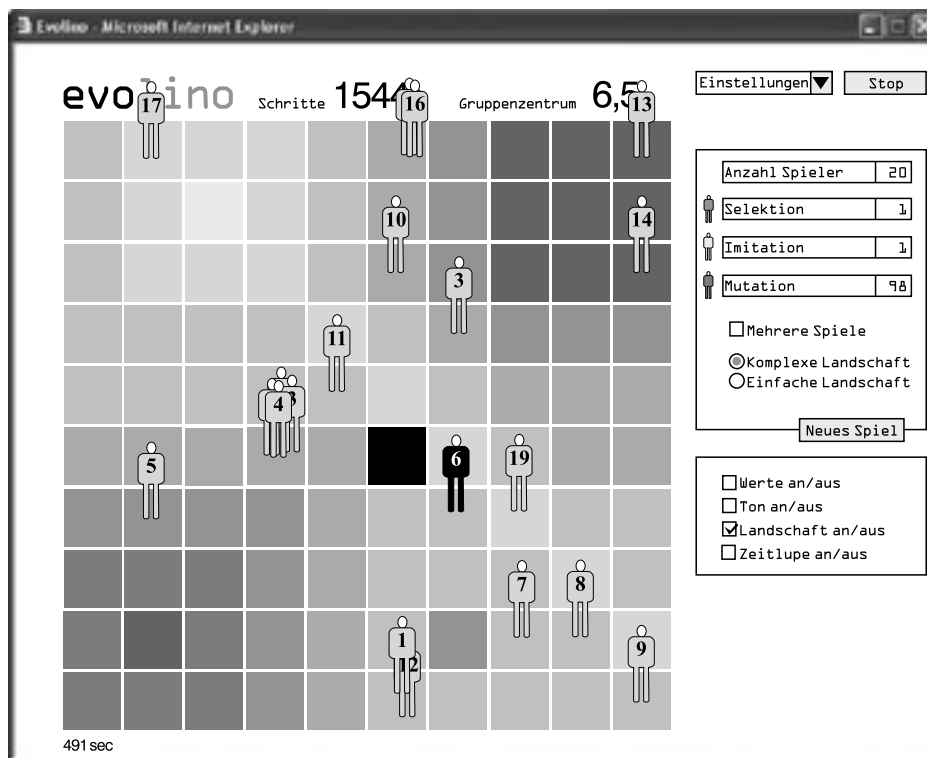
Es kommt also darauf an, ein Optimum zwischen allen drei Prozessen zu finden, was nicht immer einfach ist. Die Simulation soll auch deutlich machen, welchen Einfluss Zufallsprozesse auf die Suche haben. Bei gleichen Parametersätzen können Verläufe ganz anders aussehen. Die Simulation lässt sich schnell und langsam ausführen. Im langsamen Modus (*slow motion*) können einzelne Entscheidungsschritten verfolgt werden und es wird deutlicher, wie viele individuelle und kommunizierte Entscheidungsschritte notwendig sind, um die mittlere Position der Gruppe (markiert durch das Zentrum) zu verändern. In einem realen Problemlösungsprozess könnte man Protokolle der Kommunikation anfertigen und diese Verläufe als Trajektorien evolutionärer Suche interpretieren (Tschacher/Schiepek/Brunner 1992, Tschacher/Dauwalder 1999).

In Laufe des Spiels kann sich die Gruppe auch zwischenzeitlich erst einmal auf dem Zwischenmaximum versammeln, bevor das endgültige, globale Maximum erreicht wird. Ein weiterer Effekt, der beobachtet wurde ist, dass es erst zur Bil-

derung von konkurrierenden Untergruppen kommt, bevor sich die Mitglieder wieder relativ gleichmäßig um das Gruppenzentrum versammeln.

Abbildung 23

Spiel mit sehr hoher Mutationsrate (98), Spielstand nach 1544 Schritten



Die Spieler erkunden das ganze Spielfeld. Einige erreichen auch den neuen Gipfel. Aber es kommt zu keiner Gruppenbildung mehr, und das Zentrum der Gruppe verbleibt im Tal in der Mitte des Spielfelds.

Das *Evolino*-Spiel bildet den Ausgangspunkt für drei verschiedene Kompetenzspiele (*EvoKom*, *SynKom*, *SynKom_Berg*). Alle drei Spielvarianten machen Gebrauch von Modell 2, d. h. die Kompetenzen werden als verschiedene Mechanismen der Suche interpretiert.

6.3.1 EvoKom – Kompetenzgesteuerte Problemsuche

Das *EvoKom*-Spiel benutzt denselben Regelsatz wie *Evolino*.

Folgende Regeln werden darin angewendet:

- 1) Mutation
- 2) Imitation
- 3) Selektion

Dabei führen wir die folgenden Interpretationen von Evolutionsschritten als kompetenzgesteuerte Entscheidungsprozesse bei einer Problemlösung ein:

- 1) Zentrum *personaler Kompetenz* ist die Kreativität.
Im evolutionären Bild wird sie als gedankliche Mutation gedeutet. Je kreativer eine Persönlichkeit, desto häufiger sind solche Mutationen.
- 2) Soziales Handeln gehorcht Regeln, Normen und Werten.
Anpassung daran wird als Imitation, die Fähigkeit dazu als *soziale Kompetenz* gedeutet. Übergroße *Imitation/Anpassung* führt zu reibungslosem, aber auch neuerungsfeindlichem Verhalten.
- 3) Den Wissensbestand der eigenen Position und die anderer zu bewerten, erfordert *fachlich-methodische Kompetenzen*. Sich Wissen anzueignen und damit die eigene Position zu verändern, ist ein *selektiver* Entscheidungsprozess. Dabei werden Gruppenwerte und Normen individuell interiorisiert.

Das rote Quadrat repräsentiert die jeweilige Problemlösung durch die Gruppe. Die Bewegung des roten Quadrats beschreibt dann die Findung neuer Problemlösungen im Gruppenprozess.

Es lassen sich drei Grenzwertspiele definieren:

- 1) Es dominiert die fachlich-methodische Kompetenz, nur unmittelbare Lösungsverbesserungen werden akzeptiert. Die Gruppe findet die nächst beste Lösung, aber keine innovativ neue.
- 2) Es existiert nur soziale Imitation, dann werden alle Mitspieler dasselbe wollen und die Problemlösung wird ebenfalls nicht geändert.
- 3) Es existiert nur Mutation im Sinne von Kreativität, dann wird eine deutliche Verschiebung der Problemlösung die Folge sein.

Die Kombinationen dieser handlungstreibenden Kompetenzen ergeben jeweils neue Spielverläufe.

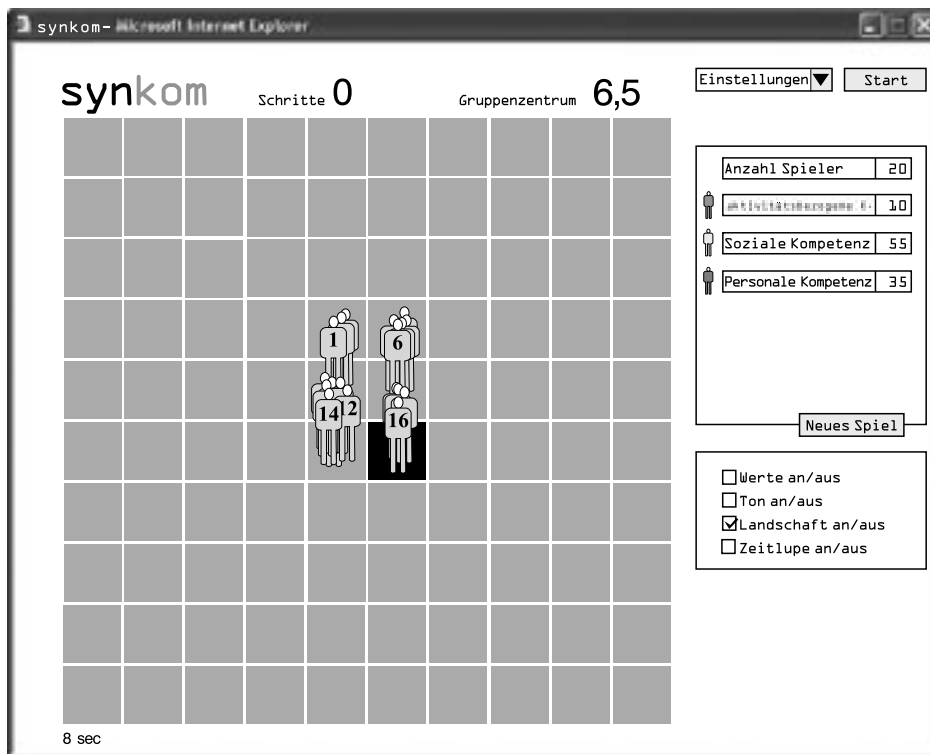
Die verschiedenen Spielverläufe können in ihrem Resultat (Endkoordinaten des Gruppenzentrums, Schrittzahl und Parameter) gespeichert und angezeigt werden. Damit wird es möglich, das Suchverhalten von Gruppen mit unterschiedlichen Kompetenzstrategien miteinander zu vergleichen.

6.3.2 SynKom – Gruppenordner wird synergetisch intern gebildet

Beim *EvoKom*-Spiel suchen die Spieler in einer externen Landschaft. Bei günstigen Parameterkombinationen erfolgt eine Neuordnung der Gruppe um das höhere, innovative Maximum. Für soziale Prozesse ist aber häufig der interne Prozess der Gruppenbildung von Belang. Deshalb entwarfen wir ein Spiel ohne äußere Landschaft.

Abbildung 24

SynKom-Spiel: Beispiel Startbild



Die Gruppe startet von der Mitte des Spielfelds aus. Es gibt keine Landschaft. Das dunkle Kästchen stellt den Gruppenordner dar.

Folgende Regeln werden darin angewendet:

- 1) Mutation
- 2) Imitation
- 3) Zentrifugalabstoßung

In diesem Spiel deuten wir diese Regeln folgendermaßen:

- 1) Zentrum *personaler Kompetenz* ist die Kreativität. Im evolutionären Bild wird sie als gedankliche Mutation gedeutet. Je kreativer eine Persönlichkeit, desto häufiger sind solche Mutationen.

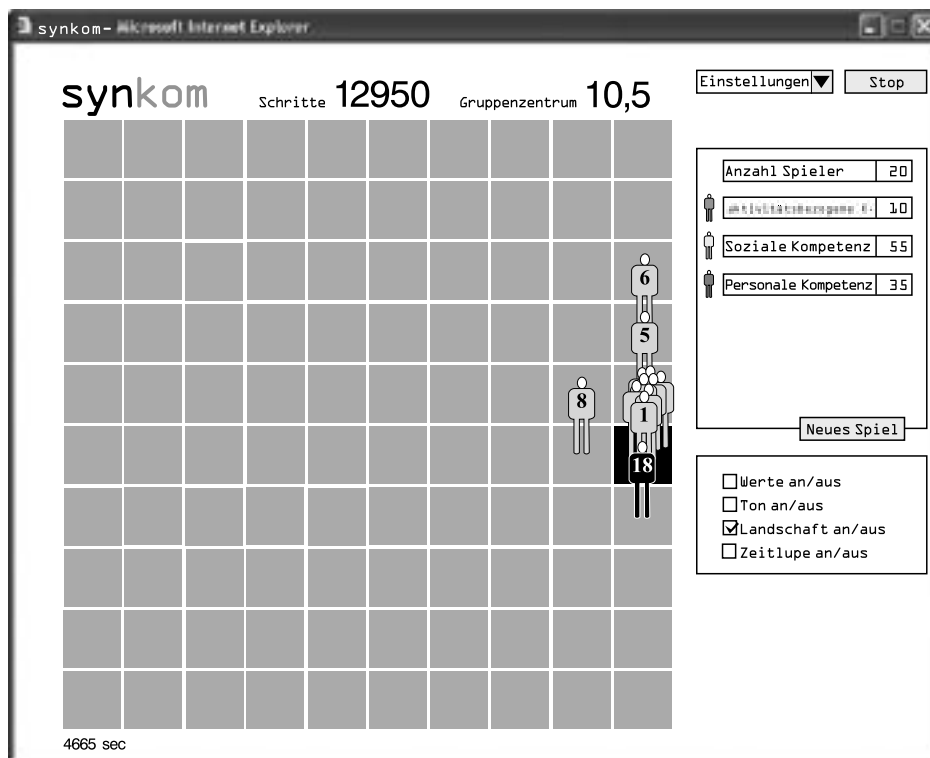
- 2) Soziales Handeln gehorcht Regeln, Normen und Werten. Anpassung daran wird als Imitation, die Fähigkeit dazu als *soziale Kompetenz* gedeutet. Übergroße Imitation/Anpassung führt zu reibungslosem, aber auch neuerungsfeindlichem Verhalten.
- 3) Sich von Bisherigem abzustoßen, in neue Richtungen vorzudringen, lässt sich als Aktivität, die Fähigkeit dazu als *aktivitätsbezogene Kompetenz* deuten.

Kreativität, Imitation und Aktivität werden nicht als physische, sondern als geistige Problemlösungsanstrengungen gedeutet. Das rote Quadrat repräsentiert die jeweilige Problemlösung durch die Gruppe. Die Bewegung des roten Quadrats beschreibt dann die Findung neuer Problemlösungen im Gruppenprozess. Die Koordinaten des Gruppenordners werden aus der Verteilung der Gruppenmitglieder auf dem Spielfeld (Schwerpunktcoordinate) berechnet.

Da keine Selektion (Zielvorgabe der Problemlösung) vorgegeben ist, wird die Bewegungsgeschwindigkeit des roten Quadrats zum Innovationsmaßstab.

Abbildung 25

SynKom-Spiel: Beispiel Spielverlauf



Der Gruppenordner ist an die rechte Seite des Spielfelds gewandert.

Es lassen sich drei Grenzwertspiele definieren:

- 1) Es existiert nur die (Abstoßungs-)Aktivität, dann ändert sich die Problemlösung kaum, weil die Mitspieler etwas grundsätzlich Gegensätzliches wollen.
- 2) Es existiert nur soziale Imitation, dann werden alle Mitspieler dasselbe wollen und die Problemlösung wird ebenfalls nicht geändert.
- 3) Es existiert nur Mutation im Sinne von Kreativität, dann wird eine deutliche Verschiebung der Problemlösung die Folge sein.

Die Kombinationen dieser handlungstreibenden Kompetenzen ergeben jeweils neue Spielverläufe (als Beispiel vgl. Abbildung 24, 25).

6.3.3 SynKom_Berg – Gruppenneubildung und Gradientenstrategie

Für die Spielvariante *SynKom* ist der Innovationsmaßstab die Bewegungsgeschwindigkeit des Gruppenordners, also wie schnell ein Gruppenordner an neuen Orten entsteht. Wenn allerdings die Kreativität innerhalb der Gruppe hoch ist, führt die Simulation zu einem unbefriedigenden Ergebnis. Der Gruppenordner stabilisiert sich in der Mitte vom Spielfeld. Das hat mit der relativ kleinen Größe des Spielfelds zu tun. Daher entstand die Idee, eine Kombination aus *EvoKom* und *SynKom* zu bilden. Wir führen wieder eine externe Landschaft ein, aber diesmal nur eine sehr einfache, die von links unten nach rechts oben ansteigt. Die Aufgabe ist nicht mehr, einen hohen Gipfel unter verschiedenen zu finden, sondern den einzigen Berg möglichst schnell nach oben zu laufen (Abbildung 26, 27). Der Selektionsanteil des *Evolino*-Spiels entspricht immer einer Gradientenstrategie. In Fall eines einzigen Bergs muss diese Strategie zum Erfolg führen. Das Spielkriterium ist nunmehr, in welcher Zeit der Berg erreicht wird.

Folgende Regeln werden in *SynKom_Berg* angewendet:

- 1) Mutation
- 2) Imitation
- 3) Selektion

In diesem Spiel deuten wir diese Regeln folgendermaßen:

- 1) Zentrum *personaler Kompetenz* ist die Kreativität. Im evolutionären Bild wird sie als gedankliche Mutation gedeutet. Je kreativer eine Persönlichkeit, desto häufiger sind solche Mutationen.

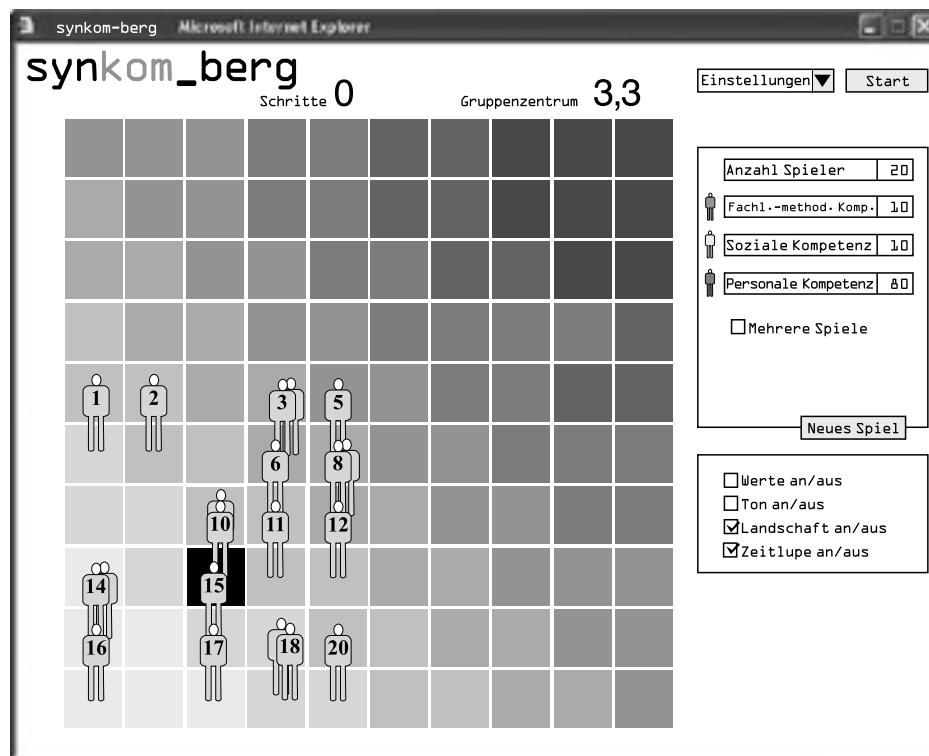
- 2) Soziales Handeln gehorcht Regeln, Normen und Werten. Anpassung daran wird als Imitation, die Fähigkeit dazu als *soziale Kompetenz* gedeutet. Übergroße Imitation/Anpassung führt zu reibungslosem, aber auch neuerungsfeindlichem Verhalten.
- 3) Ziele aktiv auszuwählen und anzustreben, wird hier als Selektion, die Fähigkeit dazu als *fachlich-methodische Kompetenz* gedeutet. Es ist weniger eine äußerliche, mehr eine auf inhaltliche und willentliche Zielsetzungen bezogene Kompetenz.

Kreativität, Imitation und Zielsetzung werden nicht als physische, sondern als geistige Problemlösungsanstrengungen gedeutet.

Das dunkle Quadrat repräsentiert die jeweilige Problemlösung durch die Gruppe. Die Bewegung des dunklen Quadrats beschreibt die Findung neuer Problemlösungen im Gruppenprozess, die Entfernung vom Ausgangspunkt erfasst die Stärke des Richtungskriteriums (Selektionsmaßstab).

Abbildung 26

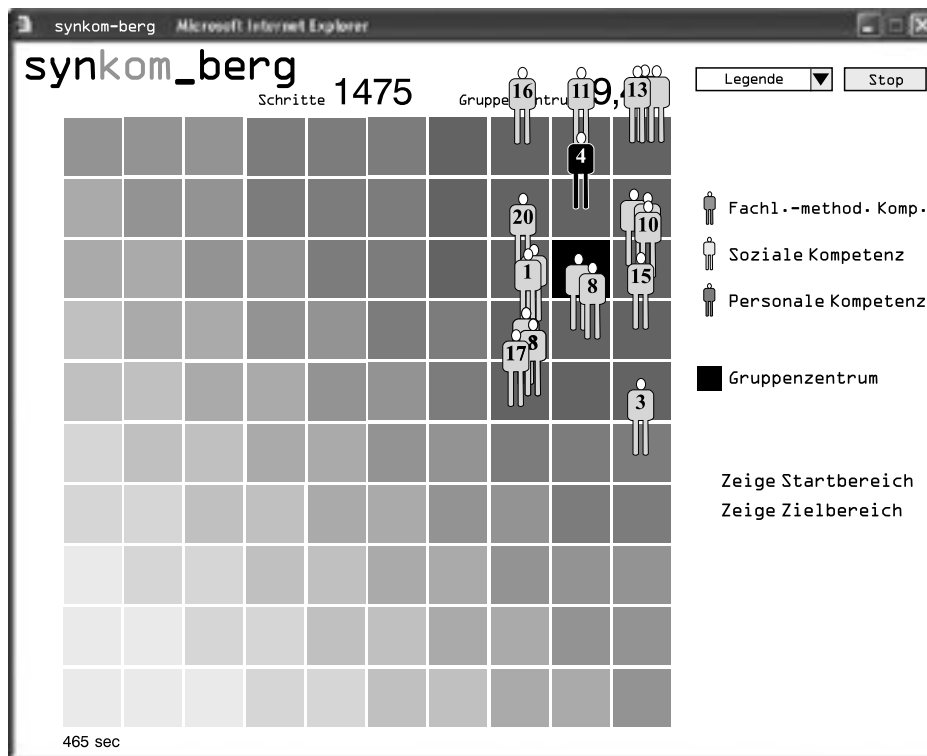
SynKom_Berg-Spiel: Beispiel Startposition



Startposition in der unteren Hälfte des Spielfelds. Die Landschaft steigt kontinuierlich nach rechts oben an.

Abbildung 27

SynKom_Berg-Spiel: Beispiel Spielverlauf



Nach ca. 1500 Spielschritten haben sich alle Spieler außer einem (Nr. 3) im linken oberen Zielbereich des Spielfelds versammelt.

7 Modellierung von Kompetenzentwicklung mit Hilfe aktiver Brown'scher Agenten in einer Evolutionslandschaft

7.1 Beschreibung von aktiven Brown'schen Agenten im Merkmalsraum

Wir entwickeln nun ein neues Modell, das sich vom bisherigen dadurch unterscheidet, dass wir als neue Variable neben den Merkmalskoordinaten die Geschwindigkeiten der Veränderung einführen.

$$v_1 = \frac{d}{dt} q_1 = \dot{q}_1, v_2 = \dot{q}_2, \dots, v_d = \dot{q}_d$$

Das entspricht einer physikalischen Modellierung von Teilchen durch Koordinaten und Geschwindigkeiten. Alternativ könnte man wie in der Physik die Impulse p_1, p_2, \dots, p_d einführen.

Im einfachsten Fall kartesischer Ortskoordinaten gilt der einfache Zusammenhang:

$$p_1 = m\dot{q}_1 = mv_1, p_2 = m\dot{q}_2, \dots, p_d = m\dot{q}_d$$

Anstelle der Impulse verwenden wir hier im Interesse der Anschaulichkeit besser die Geschwindigkeiten. Außerdem ist es nicht einfach, der Masse m als Variable in der physikalischen Analogie eine sinnvolle Interpretation im sozialwissenschaftlichen Sinne zu geben. Im Allgemeinen bezeichnet die Größe m eine Art Trägheit gegenüber Veränderungen. Wir nehmen an, dass die Dynamik nicht nur von den Koordinaten im Merkmalsraum, sondern auch von den Geschwindigkeiten (Impulsen) abhängen soll. Die Abhängigkeit von den Geschwindigkeiten betrachten wir als Modell für die Rolle von Flexibilität. Kompetenz und Flexibilität bedingen sich gegenseitig.

Das neue Modell bezieht sich in einer Analogie auf Ansätze aus der Physik, in denen sich die Geschwindigkeiten/Impulse als wesentliche Variable der Dynamik von Systemen erwiesen haben. Damit beziehen wir uns auf Arbeiten von Ludwig Boltzmann zur statistischen Analyse großer Systeme. Der Anschaulichkeit halber wählen wir im Folgenden stets die Sprache der Geschwindigkeiten.

Nach unserer Auffassung macht eine Übertragung der Boltzmann'schen Idee von Teilchen mit Koordinaten und Geschwindigkeiten auch für soziale Systeme einen Sinn. Es wird damit eine zusätzliche Klasse von Variablen eingeführt. Nicht nur in mechanischen und statistischen Systemen in der Natur – auch in

sozialen Systemen kommt es wesentlich auf die Veränderungsgeschwindigkeit, die Flexibilität, an. Ein Beispiel: Eine Arbeitskraft, die schneller auf Veränderung der Bedingungen und auf neue Anforderungen reagieren kann, die „flexibel“ ist, hat auf dem Arbeitsmarkt weit bessere Chancen. Flexibilität ist wichtiger Bestandteil von Bewertungen. Ohne Frage hängt das Erwerben von Flexibilität mit dem (lebenslangen) Lernprozess zusammen. Flexibilität kann auch als Disposition für selbstorganisiertes Lernen beschrieben werden.

Dieser Erkenntnis entsprechend definieren wir im neuen Modell den Zustand als die Gesamtheit

$$\vec{q} = [q_1, q_2, \dots, q_d]; \vec{v} = [v_1, v_2, \dots, v_d]$$

und sprechen vom Phasenraum Q, V . Mitunter operieren wir nicht mit generalisierten Koordinaten und Impulsen q_i, p_i , sondern mit einfachen kartesischen Koordinaten x_i , dann gilt für die Geschwindigkeiten $v_i = \dot{x}_i$. Im allgemeinen Fall kann der Zusammenhang zwischen Koordinaten und Geschwindigkeiten komplizierter sein.

Anstelle der Dichte im Merkmalsraum $x(\vec{q}, t)$, die im früheren Modell verwendet wurde, definieren wir nun auf dem Phasenraum Q, V eine Dichte $f(\vec{q}, \vec{v}, t)$ ganz analog wie seinerzeit Ludwig Boltzmann im Orts-Geschwindigkeitsraum (Phasenraum) der Moleküle. Diese Dichte $f(\vec{q}, \vec{v}, t)$ ist im neuen Bild die entscheidende Grundgröße der Theorie.

Wir konzentrieren uns nun auf Entwicklung der Dynamik auf dem kontinuierlichen Phasenraum. Der Vorteil dieses Zugangs besteht darin, individuelle Variabilität explizit zu beschreiben. Damit ist aber auch eine höhere mathematische Komplexität verbunden, die analytische Aussagen erschwert.

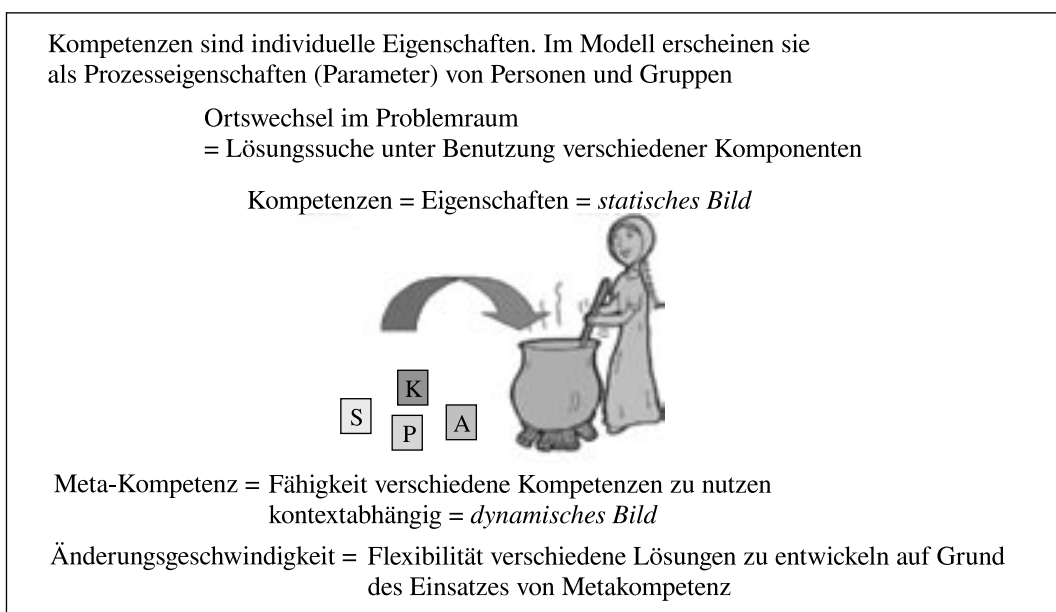
7.1.1 Kompetenzentwicklung und Metakompetenz

Wenden wir die Erweiterung des mathematischen Modells auf unsere Interpretation der Suche im Kompetenzraum an, dann stellen die neuen Variablen der Geschwindigkeit die Änderungsgeschwindigkeit der Verwendung bestimmter Kompetenzen dar. Wie bereits im Kapitel 5.1 dargestellt, entspricht eine Ortsveränderung im Kompetenzraum der Wahl eines anderen Kompetenzprofils. Eine Person kann sich zum Beispiel entscheiden, in einer bestimmten Lernsituation eher auf sozial-kommunikative Kompetenzen zurückzugreifen, während sie sich einige Momente später wieder auf ihre fachlich-methodischen Kompetenzen be-

zieht und zu wieder einem anderen Zeitraum im Problemlösungsprozess personale Kompetenzen zum Einsatz bringt. Dieser Wechsel zwischen bestimmten Kompetenzmustern kann schnell oder langsam erfolgen. Die Änderungsgeschwindigkeit sagt etwas darüber aus, in welchem Maße jeder über seine Kompetenzen selbst verfügt. Man kann unserer Meinung nach diese Eigenschaft als eine generalisierte Selbstorganisationsdisposition, eine Selbstorganisationskompetenz auffassen, die das Vermögen erfasst, sich überhaupt in Selbstorganisationsprozesse einbinden zu können. Als Metakompetenz ist diese Eigenschaft untrennbar mit den anderen Grundkompetenzen verbunden. In unserem spezifischen Modell können wir darüber hinaus noch zwischen verschiedenen Anteilen der Metakompetenz (je nach Grundkompetenz, zu der die Änderungsgeschwindigkeit gehört) unterscheiden (Abbildung 28).

Abbildung 28

Metakompetenz beschrieben durch die Einführung der neuen Geschwindigkeitsvariablen



7.1.2 Problemlösen und Aktivität

Wenden wir die Erweiterung des mathematischen Modells auf unsere zweite Interpretation der Problemlösungssuche an, dann beschreiben die neuen Variablen, wie schnell bestimmte Problemsichten gewechselt werden können. Sie beschreiben in diesem Fall, wie schnell man in der Lage ist, zwischen verschiedenen Problemsichten zu wechseln. In diesem Bild kann die Geschwindigkeit mit der aktivitätsbezogenen Kompetenz verbunden werden. Die aktivitätsbezogene Kompetenz

spielt verglichen mit den anderen drei Grundkompetenzen eine besondere Rolle. Sie gibt an, auf welchem Aktivitätsniveau man agiert (siehe auch Abbildung 2, S. 26). Damit ergänzt diese Kompetenz die bisherigen Evolutionsmechanismen. Wir werden im Folgenden sehen, dass mit der Einführung der Geschwindigkeiten als Variablen noch eine weitere Anzahl von Parametern verbunden ist, die insbesondere beschreiben, wie Geschwindigkeiten und Merkmalsraum miteinander verbunden sind.

Die bisher beschriebenen Evolutionsmodelle entsprechen in der Sprache der Physik einer sogenannten überdämpften (stark durch Reibung abgebremsten) Bewegung. In dem neuen hier entwickelten Evolutionsmodell fügen wir zwei Eigenschaften hinzu, die nicht nur in der Physik, sondern auch bei soziologischen Prozessen von Bedeutung sind:

- 1) Trägheit
- 2) Antrieb.

In der Physik bezeichnet Trägheit alle Effekte, die durch Masse hervorgerufen werden und die mit den Newton'schen Axiomen verbunden sind. Ein Körper verharrt in Ruhe oder Bewegung, sofern es keine Kräfte gibt. Ein Körper tendiert dazu, einen Bewegungszustand beizubehalten. Das trifft natürlich auch in gewissem Sinne für gesellschaftliche Akteure zu. Jedermann neigt dazu, in einem gewissen Bewegungszustand, verbunden z. B. mit der beruflichen Tätigkeit oder der Freizeitgestaltung, wie bisher fortzufahren. Unser neues Modell soll dazu dienen, diesen Aspekt der Trägheit (im übertragenen Sinne) zu modellieren. Der zweite Aspekt betrifft eine Art von Antrieb. Wir sprechen dabei von aktiver Reibung oder aktiven Kräften. In der Physik benutzt man das Modell der sogenannten „aktiven Reibung“, um selbsterregte Schwingungen in der Musik (Orgelpfeifen, Geigensaiten usw.) oder in der Elektronik (Elektronenröhren, Schwingungsgeneratoren auf Halbleiterbasis usw.) zu modellieren. Der Begriff der aktiven Reibung drückt dabei aus, dass wir nicht die üblichen Reibungsverluste wie bei normaler Reibung beobachten, sondern im Gegenteil selbstbeschleunigende Prozesse. „Aktive Kräfte“ sind spezifische Mechanismen, die einer Energiezufuhr zum System (oder allgemeiner einer Aktivierung neuer Ressourcen) entsprechen und Möglichkeiten einer Selbstorganisation eröffnen. Im Besonderen wirken „aktive Kräfte“ als spezielle Kräfte, die eine bestehende Bewegung (Veränderung) in der bisher angenommenen Richtung verstärken. Sie werden intern im System erzeugt. Auch bei soziologischen Prozessen gibt es innere Antriebe, die Bewegung generieren. Psychologische und soziologische Theorien beschreiben Mechanismen, mit denen Individuen oder Gruppen intern Strukturen erzeugen. Man spricht von Motivation, Antrieb oder Handlungsdrang. Um diesen Aspekt wenigstens in einfachster Form zu modellieren, verleihen wir unseren Agenten einen inneren (ungerichteten) Antrieb. Dabei werden die Agenten durch eine Art innerer Motor zusätzlich angetrieben.

Einmal in Bewegung, beschleunigt sich die Änderung immer mehr. Kompetenz ist weitgehend an Motivation und Existenz innerer Antriebe gebunden. Wir verbinden diese Art innerer Antrieb mit dem Bild der aktivitätsbezogenen Kompetenz. Diese Art innerer Antrieb führt dazu, dass wir von aktiven Agenten sprechen.

Man kann sich dabei zum Beispiel einen kreativen Prozess des Schreibens vorstellen. Während es am Anfang schwer fällt, Worte zu Papier zu bringen, gelingt es mit der Zeit immer besser, wenn man sich erst ganz in die Welt des Schreibens begeben hat. Ein anderes Beispiel ist ein *Brainstorming*-Prozess in einer Gruppe. Fällt es den Teilnehmern am Anfang schwer, Assoziationen zu finden, so sprudeln nach einer Weile die Assoziationen. Als ob eine Kettenreaktion in Gang gesetzt wird, können sich geistige Prozesse beschleunigen. Für unsere Interpretation von Geschwindigkeit im Sinne von Aktivität bedeutet das, dass sich die Aktivität selbst verstärkt – in Sinne einer positiven Rückkopplung.

Kurz zusammengefasst besteht folgender Unterschied zwischen passiven und aktiven Agenten: Der passive Agent folgt vorwiegend Einflüssen und Kräften von außen, er folgt diesen langsam und kennt keine Trägheit der Reaktion. Der aktive Agent hat einen inneren Antrieb, er beschleunigt seine Aktionen selbst im Falle fehlender äußerer Kräfte, er kann nicht in Ruhe verharren, sondern bewegt sich wie eine Mücke im Schwarm. Bei der Existenz äußerer Antriebe hat er einen Vorteil, der aus seiner Beweglichkeit resultiert. Er hat darüber hinaus die Eigenschaft einer gewissen Trägheit, er braucht Zeit, um sich umzustellen. Wir sind der Überzeugung, dass solche Eigenschaften, die in unterschiedlicher Stärke ausgeprägt werden können, von Interesse für die Modellierung von Kompetenzentwicklung sind.

7.2 Dynamik im verallgemeinerten Merkmalsraum – allgemeiner Modellrahmen

In der im vorigen Kapitel verwendeten kontinuierlichen Beschreibung wird jedem Punkt im Merkmalsraum der Kompetenzkomponenten Q (d. h. jedem Vektor $\vec{q} = \{q_1, q_2, \dots, q_d\}$ von Merkmalsvariablen q_k eine Zahl (bzw. Häufigkeit) zugeordnet, die die Realisierung bestimmter Parameterkombinationen kennzeichnet. Damit wurde eine Dichtefunktion $x(\vec{q}, t)$ über dem Merkmalsraum der Probleme bzw. Eigenschaften definiert. Die Dynamik wurde in einem früheren Modell mit den Reproduktionseigenschaften bestimmter Merkmalskombinationen verbunden. Um die Rolle der Geschwindigkeiten einzubeziehen, benötigen wir eine erweiterte Dynamik im Phasenraum. Um diese erweiterte Dynamik zu formulieren, formulieren wir eine Art Fokker-Planck-Gleichung.

$$\frac{\partial f(\vec{q}, \vec{p}, t)}{\partial t} = f(\vec{q}, \vec{p}, t) w(\vec{q}, \vec{v}; \{x\}) - \vec{v} \frac{\partial f}{\partial \vec{q}} - \frac{\partial U(\vec{q})}{\partial \vec{q}} \frac{\partial f}{m \partial \vec{v}} + \frac{\partial}{\partial \vec{v}} \left[m \gamma(\vec{q}, \vec{v}) \vec{v} f + D_v \frac{\partial f}{\partial \vec{v}} \right] \quad (7)$$

Im Folgenden wollen wir diese Gleichung diskutieren. Die zeitliche Veränderung in der Verteilung von Agenten über der Landschaft (linker Term in Gleichung 7) wird durch vier verschiedene Prozesse gesteuert. Diesen entsprechen die vier Terme auf der rechten Seite der Gleichung. Im Vergleich mit dem ersten Modell (in dem die Bewertungsfunktion $w = E - \langle E \rangle$ und die Diffusionsrate D die Veränderung bestimmt) erscheinen hier zwei neue Funktionen: das „Potential“ $U(\vec{q})$ und die „aktive Reibung“ $\gamma(\vec{q}, \vec{v})$. Im Vergleich zu der Standard-Fokker-Planck-Gleichung, die häufig in physikalischen Anwendungen benutzt wird (Ebeling/Sokolov 2005), ist der erste Term der rechten Seite in (7) neu. Auf diese Art und Weise stellt unsere Basisgleichung (7) sowohl die Fisher-Eigen- als auch die Fokker-Planck-Gleichung. Für $w = 0$ erhalten wir die Standard-Fokker-Planck-Gleichung. Wenn wir für w den Ausdruck $w = E - \langle E \rangle$ einsetzen wie in unserem früheren Modell, erhalten wir eine Dynamik, bei der zusätzlich zu der Bewertung durch E eine Potentialfunktion U in die Bewertung eingeht. Während der erste Term der linken Seite von (7) eine Besiedlung der Maxima von E favorisiert, unterstützen die anderen Terme eine Besiedlung um die negativen Maxima ($-U(\vec{q})$). Beide Tendenzen ergänzen einander und unter der Annahme $U(\vec{q}) = \text{const}(-E(\vec{q}))$ beeinflussen sie das System in dieselbe Richtung. Der Term $m\gamma(\vec{q}, \vec{v})$ auf der rechten Seite repräsentiert das Vorhandensein einer (negativen) aktiven Kraft. Diese Kraft wirkt für manche Geschwindigkeiten in derselben Richtung wie die Geschwindigkeit, d. h. die Bewegung wird beschleunigt.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die Dynamik jetzt weit reicher ist als im ersten Fall einer rein ortsabhängigen Dynamik. Man kann zeigen, dass die rein ortsabhängige Dynamik als Grenzfall der Phasenraumdynamik folgt. Um diesen Grenzfall zu skizzieren, integrieren wir Gleichung (7) über die Geschwindigkeiten. Unter der Voraussetzung, dass durch Gleichung (2) gegeben (rein ortsabhängig) ist, folgt die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial}{\partial t} x(\vec{q}, t) = (E(\vec{q}) - \langle E \rangle) x(\vec{q}, t) - \nabla \vec{J}(\vec{q}, t) \quad (8)$$

wobei Dichte und Fluss durch die folgenden Gleichungen definiert werden

$$x(\vec{q}, t) = \int f(\vec{q}, \vec{v}, t) d\vec{v} \quad (9)$$

$$\vec{J}(\vec{q}, t) = \int \vec{v} f(\vec{q}, \vec{v}, t) d\vec{v} \quad (10)$$

Um eine geschlossene Gleichung für $x(\vec{q}, t)$ zu erhalten, muss der Strom $\vec{J}(\vec{q}, t)$ eliminiert werden. Das gelingt ohne Weiteres nur im Grenzfall konstanter und großer Reibung $\gamma(\vec{q}, \vec{v}) = \gamma_0 = \text{const}$, $\gamma_0 \rightarrow \infty$. Dem allgemeinen Schema der kine-

tischen Theorie folgend, multiplizieren wir die Fokker-Planck-Gleichung (7) mit \vec{v} und integrieren über die Geschwindigkeiten. Im Grenzfall $\gamma_0 \rightarrow \infty$ resultiert dann näherungsweise

$$\gamma_0 \vec{J}(\vec{q}, t) = \ominus \nabla x(\vec{q}, t) - x(\vec{q}, t) U(\vec{q}, t) \quad (11)$$

wobei \ominus eine effektive Temperatur $\ominus = k_B T$ (Streuung der Gauß-Verteilung der Geschwindigkeiten) bezeichnet. Dabei haben wir das Potential noch durch die negative Wertfunktion ersetzt $U(\vec{q}) = -E(\vec{q})$. Mit der sogenannten Einstein-Relation

$$D = \frac{\ominus}{m\gamma_0} = \frac{D_v}{m\gamma_0^2} \quad (12)$$

kommen wir von Gleichung (7) zurück zu den Evolutions-Gleichungen (5) bzw. (6). Damit haben wir nachgewiesen, dass die Dynamik im Phasenraum wirklich eine Verallgemeinerung der Dynamik im Ortsraum darstellt. Die neue Dynamik ist wesentlich komplizierter, aber – so lautet zumindest unsere These – vom Ansatz her geeigneter zur Beschreibung soziologischer Prozesse.

Das erweiterte mathematische Modell (das sowohl den Bewertungsterm fw als auch die Fokker-Planck-Terme einschließt) ist so auch in der physikalischen Literatur noch nicht betrachtet worden. Unsere Suche nach einer Operationalisierung von Metakompetenz führte uns zu einem Modell, in dem sich aktive Agenten mit Merkmalen und Geschwindigkeiten in einer Landschaft als Gruppe, d. h. wechselwirkend, suchend bewegen. Bisherige Modelle betrachteten entweder die Suche in einer Landschaft, aber dann von einfachen Diffusionsagenten (die einer Darwin-Strategie folgen) oder eine Suche von passiven Agenten in einer Potentiallandschaft (Boltzmann-Strategie). Eine erste Untersuchung von Suchprozessen aktiver Agenten in zweidimensionalen Potentialen ist kürzlich erschienen (Ebeling u. a. 2005). Für die vorliegende Arbeit wurden wesentliche Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst. Wir diskutieren zunächst eine Evolutionsdynamik vom Fisher-Eigen-Typ im Ortsraum und dann die Fokker-Planck-Dynamik im Phasenraum.

7.3 Analyse der Evolutionsdynamik – Betrachtung einfacher Fälle

7.3.1 Evolutionsdynamik im Ortsraum ohne Inertialeffekte

Das neue Modell ist sehr reich bezüglich der Dynamik. Wir betrachten ausführlicher bestimmte Spezialfälle, wo eine explizite Analyse möglich ist. Als ersten

Spezialfall betrachten wir noch einmal den Grenzfall der sogenannten überdämpften Dynamik. Hier gibt es bereits eine Fülle von Resultaten und Anwendungsbeispielen (Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 2001).

Um den Übergang vom neuen zum alten Modell explizit auszuführen, setzen wir entsprechend Gleichung (2) $w = w(\vec{q}) = \eta [E(\vec{q}) - \langle E \rangle]$ wobei $\eta > 0$ ein freier Parameter ist, mit dem wir den Anteil der Fisher-Eigen-Dynamik stärker oder schwächer machen können. Weiter nehmen wir wie im vorigen Abschnitt $\gamma = \gamma_0 = \text{const}$ an und gehen zur Grenze $\gamma_0 \rightarrow \infty$, d. h. zu starker Dämpfung über. Es folgt dann für die ortsabhängige Dichte $x(\vec{q}, t) = \int f(\vec{q}, \vec{p}, t) d\vec{p}$ wie oben beschrieben die Gleichung

$$\frac{\partial x(\vec{q}, t)}{\partial t} = \eta x(\vec{q}, t) [E(\vec{q}) - \langle E \rangle] + D \nabla \left[\nabla x(\vec{q}, t) - \frac{1}{\Theta} x(\vec{q}, t) \nabla U \right] \quad (13)$$

Das entspricht einer Verallgemeinerung der Dynamik der früheren Modelle im Ortsraum nach Gleichung (5) bzw. (6). Mit anderen Worten, die Fisher-Eigen-Dynamik wird erweitert um einen Flussterm proportional zum Gradienten von $U(\vec{q})$. Folglich ist das neue Modell der Ortsraum-Dynamik bereits eine echte Verallgemeinerung der alten Modelle. Im Rahmen von Optimierungsproblemen wird eine Dynamik nach Gleichung (13) als kombinierte Darwin-Boltzmann-Strategie im Ortsraum bezeichnet (Boseniuk/Ebeling/Engel 1987, Boseniuk/Ebeling 1991, Asselmeyer/Ebeling/Rosé 1996 a, Asselmeyer/Ebeling 1997).

Diese Suchstrategie lässt sich folgendermaßen beschreiben: Agenten suchen in einer Landschaft, sie kommunizieren und vergleichen ihre Positionen, sie gehen zu besseren Positionen über. In anderen Worten suchen sie nach höheren Maxima der Bewertungslandschaft $E(\vec{q})$ (Darwinanteil). Gleichzeitig bewegen sie sich auch unter dem Einfluss des externen Potentials $U(\vec{q})$ und suchen dabei nach Minima dieses Potentials. Der Parameter der Temperatur legt dabei fest, in welchem Radius, man könnte auch sagen mit welcher individuellen Variabilität und Streubreite der Mutationen sie sich bewegen. Wird die Temperatur im Lauf der Zeit abgesenkt, so senkt sich die über dem Raum schwebende Agentenwolke langsam auf die Gipfel von E bzw. in die Täler von U (Boltzmannanteil).

Es ist sinnvoll, die Mannigfaltigkeit des Modells noch weiter einzuschränken und eine einfache feste Beziehung zwischen der Wertfunktion $E(\vec{q})$ und dem Potential $U(\vec{q})$ anzunehmen. Im einfachsten Fall sei $U(\vec{q}) = U_0 - E(\vec{q})$, wobei U_0 eine Konstante ist.

Das Minuszeichen sichert, dass beide Teilprozesse in dieselbe Richtung – auf Maxima der Wertfunktion – zielen. Für das Restpotential können wir eine Konstante, z. B. Null, oder eine einfache Funktion, z. B. ein Paraboloid ansetzen, mit dem ein „*Confinement*“ in einem bestimmten Raumbereich erreicht werden kann. Man

kann allerdings mit diesem Restpotential auch anziehende oder abstoßende Wechselwirkungen modellieren. Wir kommen auf diesen Aspekt noch zurück.

Abbildung 29

Beispiel einer Evolutionslandschaft mit zwei Gipfeln

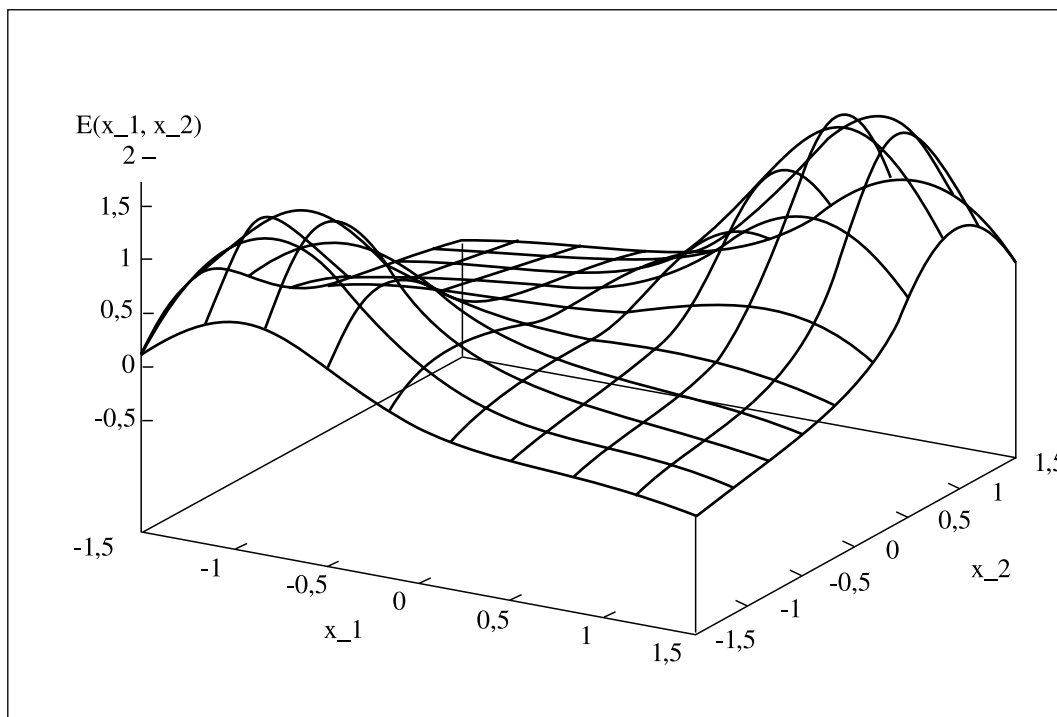


Abbildung 29 zeigt eine spezielle zweidimensionale Landschaft $\vec{q} = (x, y)$ mit zwei Gipfeln. Der rechte Gipfel ist etwas höher als der linke. Die analytische Darstellung der Landschaft in diesem Spezialfall lautet

$$E(x, y) = 1.5 \exp(-2(x+1)^2 - 2(y+1)^2) + 2 \exp(-2(x-1)^2 - 2(y-1)^2) - 0.1x^2 - 0.1y^2 \quad (14)$$

Die Höhe des linken Gipfels bei $(-1, -1)$ hat den Wert 1.5 und die Höhe des rechten Gipfels bei $(+1, +1)$ beträgt 2. Zwischen den beiden Gipfeln liegt im Koordinatenursprung $(0, 0)$ ein Sattel. Ein Übergang von links nach rechts würde also einer Verbesserung der Bewertung einer Merkmalskombination entsprechen. Solche Übergangsprozesse erfordern eine spezielle Dynamik. Die oben angegebene Fokker-Planck-Gleichung definiert eine solche Dynamik.

Das abgeleitete Gleichungssystem enthält Elemente von Selbstreproduktion der Besiedlungsdichte nach einer Fisher-Eigendynamik, aber auch Diffusionsanteile mit Boltzmann-Charakter. Es wird auch als Modell für sogenannte gemischte evolutionäre Strategien bezeichnet (Schweitzer u. a. 1996, Asselmeyer/Ebeling 1997). Gemischte Strategien, die als Spezialfall in unserem neuen Modell enthalten sind,

haben sich als sehr effektives Instrument für die Lösung von komplexen Problemen erwiesen (Asselmeyer/Ebeling/Rosé 1996 a, Schweitzer u. a. 1997; Schweitzer 2002).

7.3.2 Das Modell der aktiven Brown'schen Dynamik

Ein anderer Spezialfall, der erst kürzlich in der physikalischen Literatur diskutiert wird und noch nicht hinreichend untersucht ist, ist die aktive Brown'sche Bewegung, die aus Gleichung (13) für den Fall, dass es keine Bewertung gibt, $w = 0$, bzw. $\eta = 0$ folgt. Es resultiert dann eine echte Fokker-Planck-Gleichung, deren dynamische Struktur auch als Langevin-Gleichung formuliert werden kann. Die Theorie der aktiven Brown'schen Bewegung hat ebenfalls eine intensive Entwicklung und viele Anwendungen erfahren (Steuernagel/Ebeling/Calenbuhr 1994, Ebeling, Schweitzer/Tilch 1999, Schweitzer/Ebeling/Tilch 2001, Schweitzer 2002).

Bisherige Anwendungen der aktiven Brown'schen Dynamik konzentrieren sich auf biologische Probleme, z. B. die Dynamik von Schwärmen biologischer Objekte (Ebeling/Schweitzer 2001) und sogenannte Brown'sche Agenten (Schweitzer 2002).

Da unser neues Modell sowohl die gemischte Evolutionsdynamik als auch die Dynamik aktiver Brown'scher Systeme als Spezialfall enthält, eröffnet sich die Möglichkeit, die Resultate beider Richtungen zu verknüpfen.

Im einfachsten Fall, der die beiden Grenzfälle enthält, haben wir die Dynamik

$$\frac{\partial f(\vec{q}, \vec{v}, t)}{\partial t} = f\eta [E(\vec{q}) - \langle E(\vec{q}) \rangle] - \vec{v} \frac{\partial f}{\partial \vec{q}} + \frac{\partial E(\vec{q})}{\partial \vec{q}} \frac{\partial f}{m \partial \vec{v}} + \frac{\partial}{\partial \vec{v}} \left[m\gamma(\vec{q}, \vec{v}) f + D_v \frac{\partial f}{\partial \vec{v}} \right] \quad (15)$$

Eine Analyse dieser sehr komplizierten partiellen Differentialgleichungen ist schwierig. Immerhin sind einige spezielle Lösungen bekannt (Asselmeyer/Ebeling/Rosé 1996 a, Erdmann/Ebeling/Schimanski-Geier 2000).

Die Simulation von Populationen, die durch Gleichung (15) beschrieben werden, kann im Spezialfall $\eta = 0$, d. h. es gibt keine Selbstreproduktion, mit einem relativ einfachen Algorithmus realisiert werden, der im Folgenden entwickelt und angewendet werden wird. Dem allgemeinen Zusammenhang zwischen den Fokker-Planck-Gleichungen und den sogenannten Langevin-Gleichungen folgend (Anishchenko/Astakhov/Neimann 2002), erhalten wir auf diesem Wege die Bewegungsgleichungen für die Individuen der Population.

7.4 Von Besetzungslandschaften zu Schwärmen von Agenten – Stochastische Langevin-Dynamik der Individuen – Die „Brown’sche-Agenten“-Simulation

Die beschriebenen partiellen Differentialgleichungen (15) lassen sich analytisch nur in einfachsten Fällen und numerisch nur mit hohem Aufwand lösen. Einfacher und auch anschaulicher ist es, die Dynamik einzelner Individuen zu simulieren. Wir spezialisieren uns hier auf den Fall der Dynamik von Individuen mit kartesischen Koordinaten in einem niedrig-dimensionalen (bei unseren Simulationen in der Regel zwei-dimensionalen) Raum und stellen die Koordinaten und Geschwindigkeiten des i -ten Individuums als Vektoren r_i, v_i in diesem Raum dar. Die Langevin-Gleichung, die der Gleichung (15) mit $\eta = 0$ (d. h. keiner Selbstreproduktion) entspricht, lautet dann:

$$m \frac{dv_i}{dt} = K_i + F_i \sqrt{2D} \xi_i(t) \quad (16)$$

Das ist eine Newton’sche Bewegungsgleichung, erweitert um eine stochastische Langevin-Quelle. Die Terme auf der rechten Seite der Bewegungsgleichung repräsentieren die Kräfte, die auf die Individuen – symbolisch dargestellt als „Teilchen“ – wirken. Der Term K_i modelliert die äußere Kraft, die die Agenten auf die Berge der Landschaft der Funktion treibt. Wir nehmen an, dass diese Kraft „Potential-Charakter“ so wie die konservativen Kräfte der Mechanik besitzt.

$$K_i = \frac{\partial E(r_1, \dots, r_N)}{\partial r_i} \quad (17)$$

Der zweite Kraft-Term F_i modelliert „dissipative Kräfte“, die wir wie folgt spezifizieren (Schweitzer/Ebeling/Tilch 1998, Ebeling/Schweitzer/Tilch 1999):

$$F_i = m\gamma_0 v_i + de_i v_i \quad (18)$$

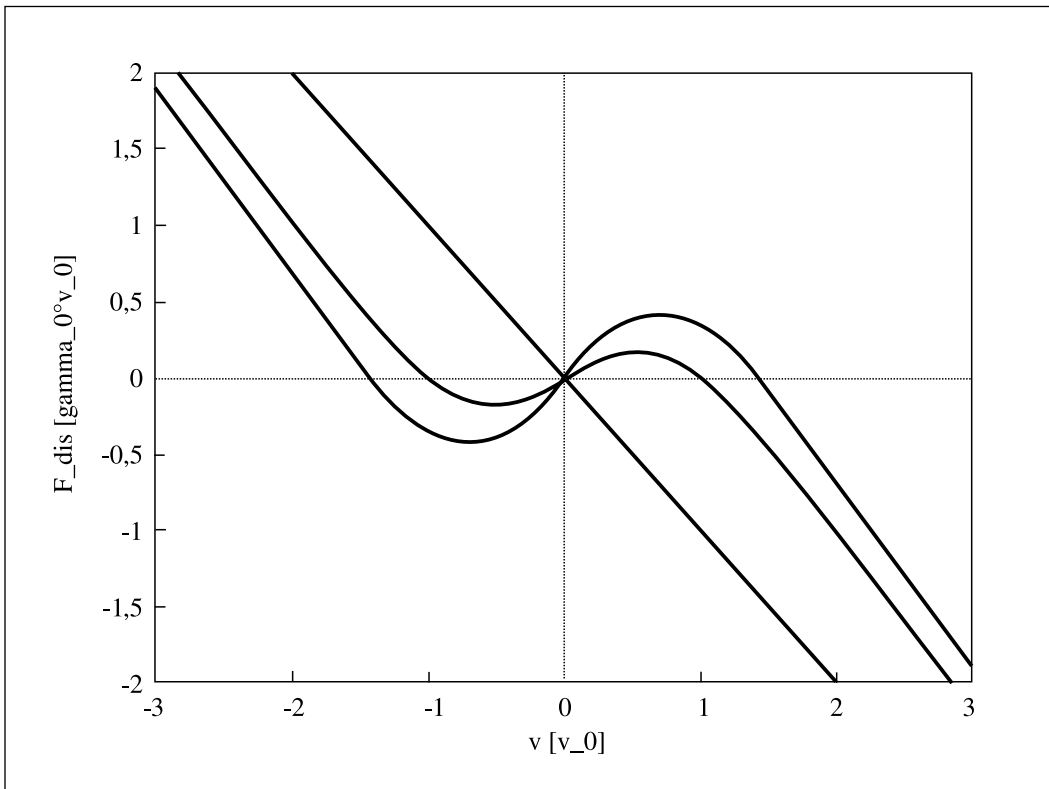
Hier bezeichnet γ_0 einen Koeffizienten passiver Reibung. Dieser Koeffizient hat die Dimension einer Frequenz. Der andere Term ($de_i v_i$) modelliert eine Beschleunigung der Agenten in Richtung der Geschwindigkeit v_i (*a forward thrust*), die auf der Konversion einer Art von „Energie“ aus einem Reservoir e_i beruht. In Analogie zu einem biologisch motivierten Modell nehmen wir eine einfache, monoton mit der Geschwindigkeit abnehmende Funktion an (mitunter wird das als SET-Modell bezeichnet) (Schweitzer/Ebeling/Tilch 1998, Ebeling/Schweitzer/Tilch 1999).

$$e_i = m \frac{q}{c + dv_i^2} \quad (19)$$

Damit erhalten wir die dissipative Kraft (Abbildung 30)

$$F_i = m \left[\frac{dq}{c + dv_i^2} - \gamma_0 \right] v_i \quad (20)$$

Abbildung 30
Dissipative Kräfte



Zwei Beispiele einer dissipativen Kraft mit Beschleunigungseffekten für $v < v_0$ im Vergleich zu einer rein passiven Reibungskraft (Gerade), die der Geschwindigkeit stets entgegen gerichtet ist. Die Idee, die hinter der Formel (20) steckt, ist, dass langsame „Partikel“ beschleunigt werden können, während sehr schnelle „Partikel“ gebremst werden.

Der letzte Kraftterm auf der rechten Seite der Gleichung (16) bezeichnet die stochastische Kraft, die auf das Brown'sche Teilchen i mit der Stärke D wirkt. Die Zufallskraft $\xi_i(t)$ wird als Gauß'sches weißes Rauschen angenommen. Wie in der statistischen Physik üblich, setzen wir voraus, dass die passive Reibung mit der Rauschstärke über eine Einstein-Relation verknüpft ist (siehe oben):

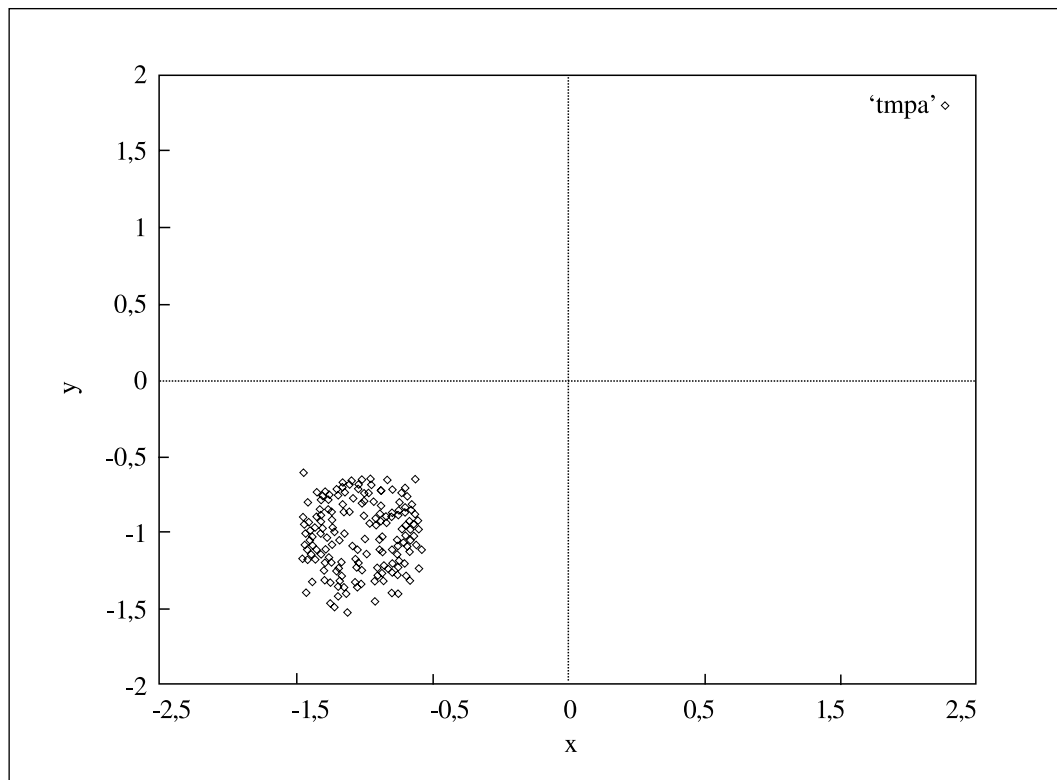
$$D = m\gamma_0 kT \quad (21)$$

Um die Bewegung der beschleunigten (aktiven) Agenten in einer Landschaft zu simulieren, wurde auf ein FORTRAN-Programm (dessen Grundversion von Alexander Neiman entwickelt wurde) zurückgegriffen. Im Besonderen benutzen wir dieses Programm, das in verschiedene Richtungen erweitert wurde, um beschleunigte (aktive) Agenten in einer zweidimensionalen Landschaft zu beschreiben und ihre Suchbewegungen zu studieren. Diese Simulation nennen wir *Brown'sche-Agenten-Simulation*. Das Ziel war dabei nicht, ein interaktives Interface zu erstellen, sondern systematische Auswertungen vorzunehmen und entsprechend zu präsentieren.

Bei den Simulationen wird die Population als eine Punktwolke dargestellt. Auf diese Weise erhalten wir einen Eindruck von der Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsdichte. Die Abbildungen 31 bis 33 zeigen als Beispiel, wie sich die Punktwolke im Fall zweier Hügel entwickelt, die im linken unteren und im rechten oberen Quadranten der Ebene lokalisiert sind.

Abbildung 31

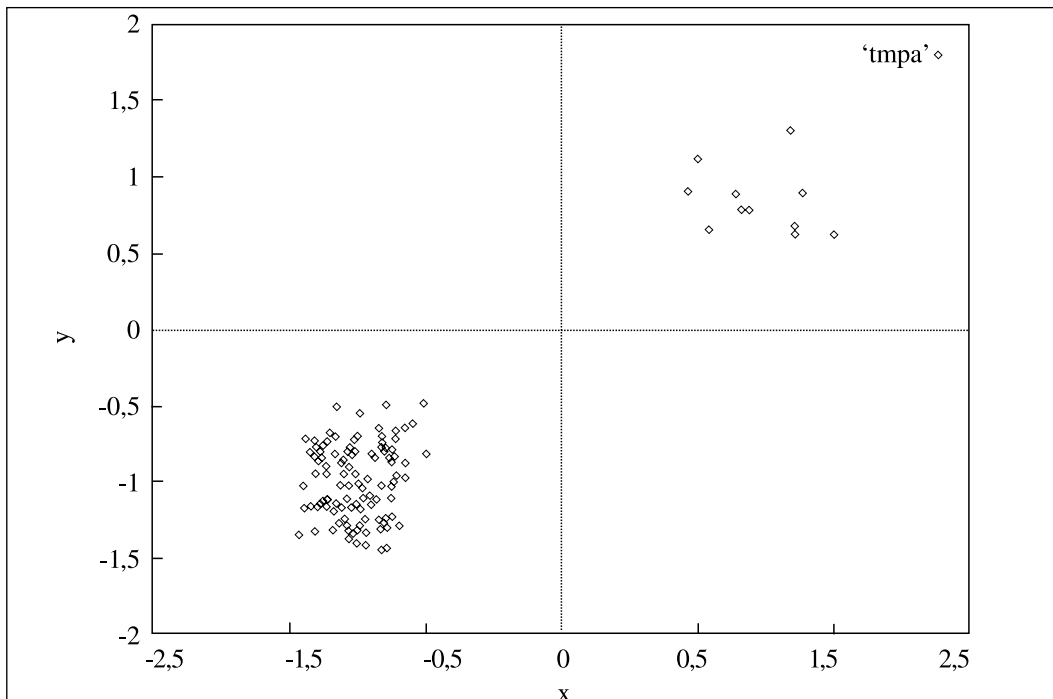
Beispiel für Simulation einer Population als Punktwolke: Ausgangssituation



Die Population besiedelt einen relativ hohen Berg in der Evolutionslandschaft. In der Beispiellandschaft, die in Abbildung 29 dargestellt wurde, entspricht das der Besiedelung des linken Gipfels.

Abbildung 32

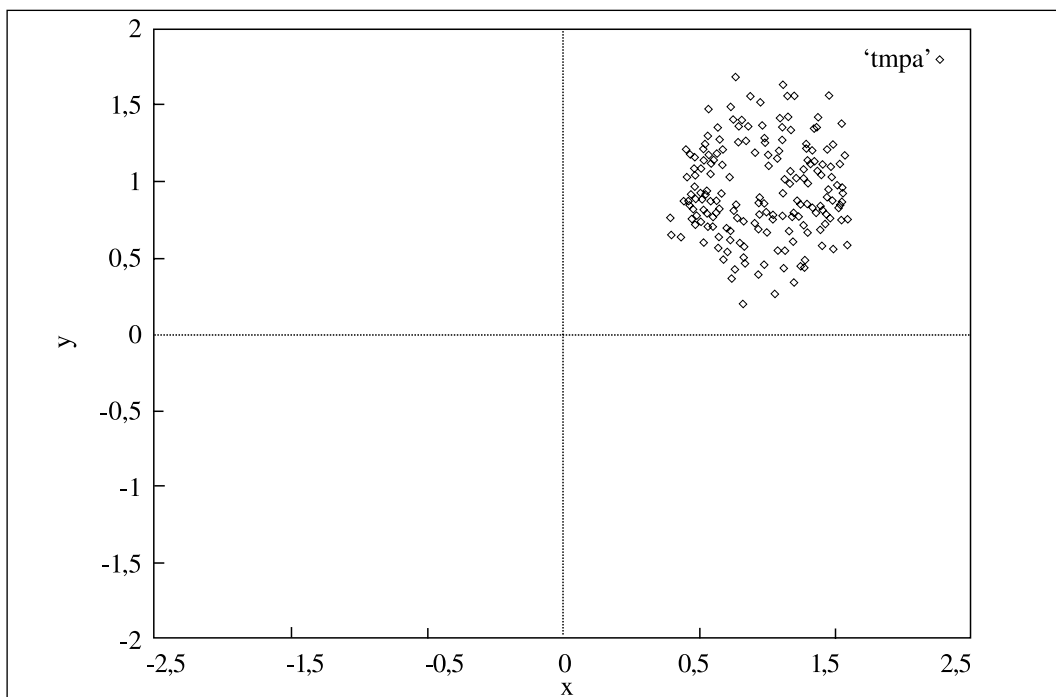
Beispiel für Simulation einer Population als Punktwolke: Übergangsphase



Die Population vollzieht den Übergang zu einem neuen (höheren) Berg in der Evolutionslandschaft. In der Beispiellandschaft nach Abbildung 29 entspricht das einem Wandern über den Sattel im Zentrum der Landschaft.

Abbildung 33

Beispiel für Simulation einer Population als Punktwolke: Endstadium



Letztes Stadium des Übergangs zu einem neuen (höheren) Berg in der Evolutionslandschaft. Im Beispiel entspricht das der Besiedelung des rechten Gipfels in Abbildung 29.

7.4.1 „Wendezzeiten“ – Mittlere Übergangszeiten aktiver, unabhängiger Agenten durch ein Tal in bistabilen Potentialen

Wir starten erneut mit dem Modell der aktiven Brown'schen Agenten, deren Ort im Merkmalsraum und Geschwindigkeit durch den folgenden Satz von gekoppelten Differentialgleichungen beschrieben wird:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= v_1 \\
 \dot{x}_2 &= v_2 \\
 \dot{v}_1 + \frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial x_1} &= -\gamma(v) v_1 + \sqrt{2D} \xi_1(t) \\
 \dot{v}_2 + \frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial x_2} &= -\gamma(v) v_2 + \sqrt{2D} \xi_2(t)
 \end{aligned} \tag{22}$$

Dabei stellt $U(x_1, x_2)$ das Potential dar, das, wie in Kapitel 7.3.1 eingeführt, mit der Bewertungslandschaft über ein negatives Vorzeichen verbunden ist. D. h. wo die Bewertungslandschaft ihre Maxima hat, hat das Potential ein Minimum. Der zweite Term der linken Seite beschreibt die konservativen Kräfte, die die Agenten auf die Berge der Bewertungslandschaft bzw. in die Täler des Potentials treiben. Der erste Term auf der rechten Seite beschreibt die sogenannte dissipative Kraft, das kann eine normale, passive Reibung sein – dann ist $\gamma = \gamma_0 = const$ oder aktive Reibung, d. h. ein zusätzlicher Antrieb. Für den Fall der aktiven Reibung lässt sich für γ nach Gleichung (20) durch Einführung neuer Variablen die folgende Formel entwickeln:

$$\gamma(v) = \gamma_0 \left\{ 1 - \frac{\delta}{1 + (v_1^2 + v_2^2) / v_d^2} \right\} \tag{23}$$

Wir betrachten im Folgenden eine Landschaft, die zwei gleich hohe Maxima aufweist. Das dazugehörige bistabile Potential hat dann die Form

$$U(x, y) = a \left\{ \frac{1}{4} z^4 - \frac{1}{2} z^2 - cz \right\} + \frac{1}{2} \omega^2 (x - y)^2 \tag{24}$$

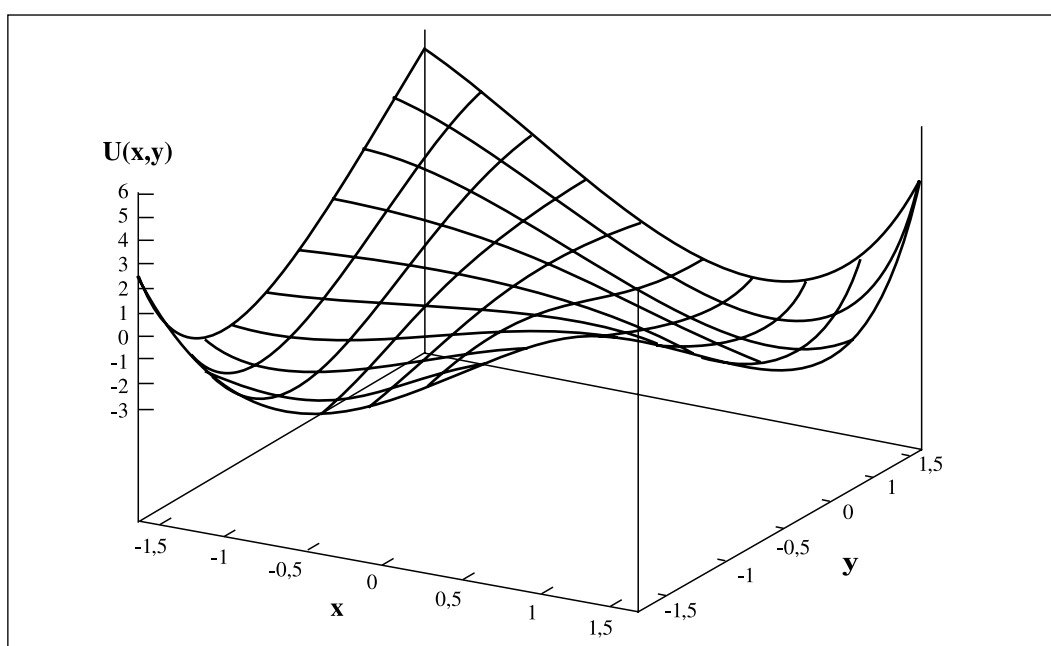
wobei $z = (x + y)/2$ ist, d. h. die Potentialtöpfe liegen auf der Diagonalen. Der Parameter c bestimmt die Asymmetrie in der Tiefe der Potentialtöpfe. Bei $c = 0$ sind beide Töpfe gleich tief, d. h. beide Gipfel gleich hoch. Die Höhe der Barriere δU (Tiefe des Tals) zwischen beiden Minima (Maxima) ergibt sich zu $a/4$ (Abbildung 34).

Aus Gleichung 22, 23 und 24 ergeben sich für die Simulationen die folgenden Parameter:

- D – Stärke des zufälligen Rauschens oder Mutationsstärke
- δU – Höhe der Barriere zwischen den Minima – Maß für die Schwierigkeit des Übergangs, Schwierigkeit der Problemlösung
- c – Maß für den Wertunterschied zwischen den verschiedenen Problemlösungen. Ist $c = 0$, sind beide Problemlösungen gleichwertig und der Übergang beschreibt nur den Prozess, etwas Neues aber alternativ Gleichwertiges zu finden. Ist c ungleich Null, kommt zusätzlich noch hinzu, dass nicht nur eine andere, sondern eine bessere Lösung existiert.
- δ – Maß für den inneren Antrieb, Aktivitätsstärke

Abbildung 34

Darstellung des Potentials U mit auf der Diagonale liegenden Potentialtöpfen



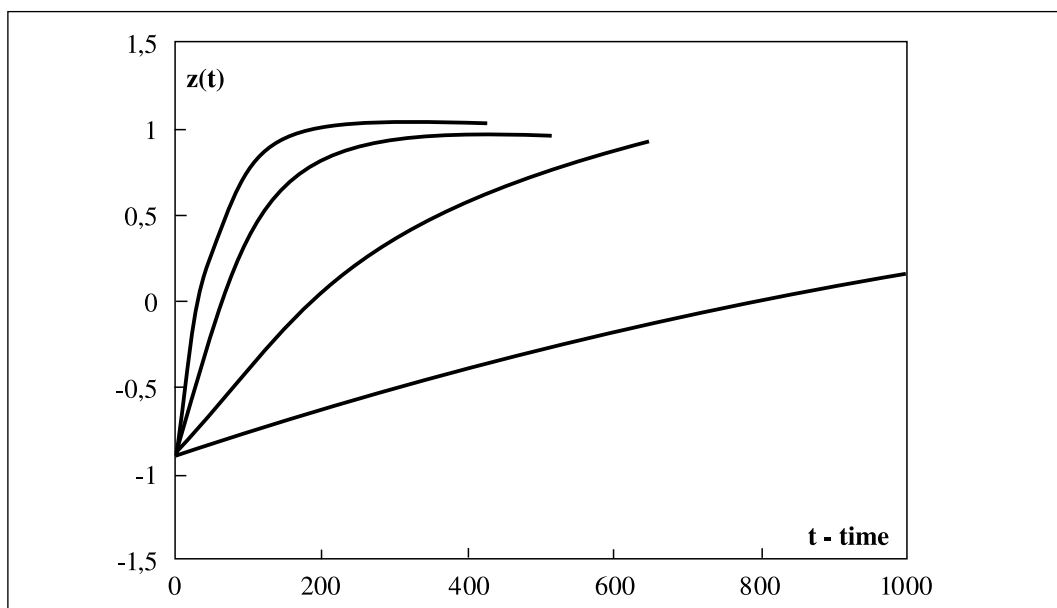
Da die Darstellung der Gruppe von Agenten als Punktwolke und deren Übergang immer zu ähnlichen Bildern führt, haben wir nach einem weiteren Parameter gesucht, mit dem man den Übergangsprozess beschreiben kann. Ähnlich wie bei den *Evolino*-Simulationen haben wir dabei zunächst den Gruppenordner gebildet, d. h. das als Schwerpunkt berechnete Zentrum der Gruppe. Dies verharrt zunächst in dem Potentialtopf, in dem die Bewegung der Agenten startet. Je mehr Agenten ausschwärmen und das neue Ziel erreichen, desto mehr wird sich auch der Gruppenordner in diese Richtung verlagern. Gemessen wurde die Wanderbewegung der Koordinate des Gruppenzentrums über der Zeit. Damit lassen sich Übergangszeiten von einem Optimum zum nächst höheren bestimmen. Fasst man den Wechsel zwischen verschiedenen Maxima im Kompetenz- oder Problemraum als einschneidenden Wandel für die Gruppe und deren Mitglieder auf (Werte- und Normwandel), so könnte man im übertragenen Sinne die Zeit des Übergangs auch als „Wendezeit“ bezeichnen.

In dieser Simulation liegt keine Wechselwirkung zwischen den Agenten vor, sie vergleichen auch nicht untereinander ihre Position. Vielmehr führen sie alle den Übergang unabhängig voneinander durch. Das dennoch ein kollektiver Effekt entsteht, liegt daran, dass alle Agenten unter denselben Randbedingungen agieren. Vergleichbar damit ist eine Situation, in der etwa Angestellte in einem Unternehmen die gleiche Aufgabe bekommen, diese aber unabhängig voneinander lösen müssen und das Kriterium nur ist, ob die Aufgabe gelöst wird. Der individuelle Lösungsweg kann dabei ganz verschieden sein.

Abbildung 35 macht deutlich, dass die Agenten ohne inneren Antrieb oder Aktivität möglicherweise die neue Lösung nicht finden. Je stärker der innere Antrieb ist, desto schneller erfolgt der Übergang zu dem neuen Optimum.

Abbildung 35

Wirkung des Antriebs/der Aktivität der Agenten auf die Lösungsfindung beim symmetrischen Potential



Übergang des Gruppenordners vom Ausgangspunkt (Koordinate $z = -1$) zum nächsten Gipfel bei einem symmetrischen Potential und starkem und mittlerem Antrieb. Parameter: $D = 0.1$, $\delta U = 1$, $c = 0$ und Kurven von links nach rechts: $\delta = 2.5$, $\delta = 2.0$, $\delta = 1.7$, $\delta = 1.5$

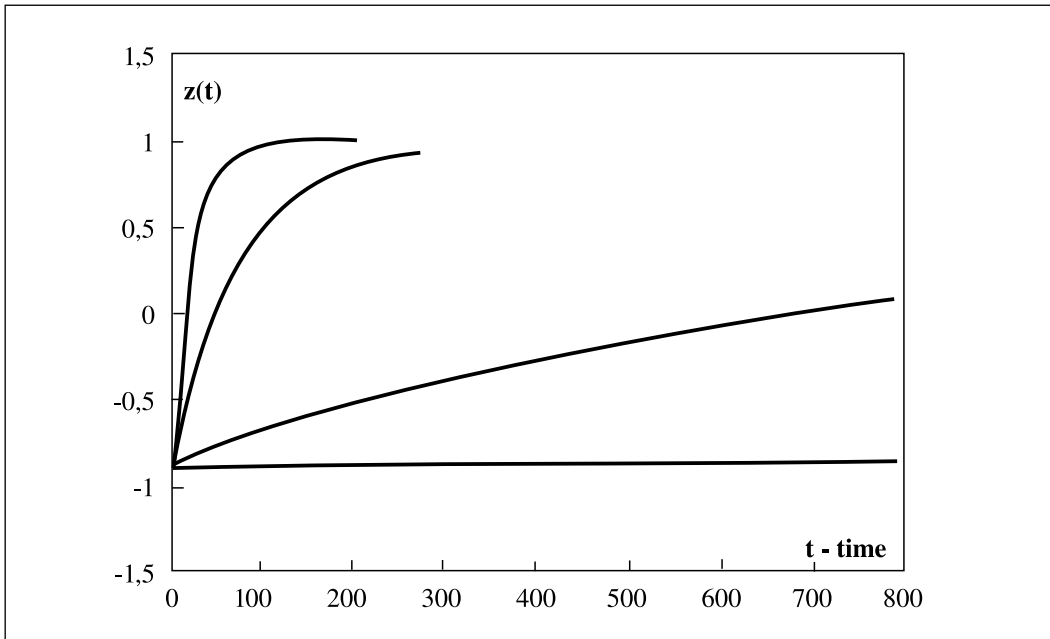
Abbildung 36 zeigt denselben Prozess unter der Bedingung, dass nun das Ziel einen höheren Wert hat, d. h. nicht nur das Tal zwischen zwei Gipfeln überwunden werden muss, sondern der zweite Gipfel höher ist.

Der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt, dass bei geringem Antrieb der Übergang fließend erfolgt. Wird der innere Antrieb größer, kommt es zu einem plötzlichen Übergang. Der innere Antrieb stellt also eine Art kritischen Parameter dar, der das Übergangsverhalten auch qualitativ verändern kann. Außerdem erfolgt der

Übergang insgesamt schneller als im Fall des symmetrischen Potentials. Der höhere Gipfel übt eine größere Anziehungskraft aus und beschleunigt die Lösungsfindung. Mit anderen Worten, je klarer die Bewertungsunterschiede sind, desto schneller erfolgt die Einnahme der besseren Lösung.

Abbildung 36

Wirkung des Antriebs/der Aktivität der Agenten auf die Lösungsfindung bei unsymmetrischem Potential



Übergang des Gruppenordners vom Ausgangspunkt (Koordinate $z = -1$) zum nächsten Gipfel (Koordinate bei $z=1$) bei einem unsymmetrischen Potential und starkem und mittlerem Antrieb. Parameter: $D = 0.05$, $\delta U = 1$, $c = 0.1$ und Kurven von links nach rechts: $\delta = 2.5$, $\delta = 2.0$, $\delta = 1.7$, $\delta = 1.5$, $\delta = 1.0$.

7.4.2 Der Einfluss von Gruppeninteraktion auf die Übergangszeiten – kommunizierende aktive Agenten

Wir führen im Folgenden anziehende oder abstoßende Wechselwirkungen zwischen den Agenten ein, die im Sinne der Physik als konservative Wechselwirkungen modelliert werden. Im Falle einer sozialen Dynamik beschreiben Wechselwirkungen, wie individuelle Entscheidungsprozesse von anderen Individuen oder von der Gruppe beeinflusst werden. Kommunikation ist dabei ein Schlüsselmechanismus einer solchen Beeinflussung.

Im einfachsten Fall gehen wir davon aus, dass sich die Individuen (Agenten) am Gruppenordner (gemeinsamer Schwerpunkt im Sinne von Durchschnitt, Massenzentrum oder geometrischer Mittelpunkt im Eigenschaftsraum) orientieren.

Eine anziehende Wechselwirkung beschreibt dann einen Mechanismus, bei dem der Einzelne dem Gruppenordner (Durchschnitt) möglichst ähnlich sein möchte und sich durch die Gruppennorm angezogen fühlt. In diesem Fall kann man davon ausgehen, dass sich das Individuum nicht besonders herausheben möchte – weder durch ein besonderes Kompetenzprofil, noch durch originelle Problemlösungen.

Um eine solche Interaktion zu modellieren, greifen wir auf das oben erwähnte Restpotential zurück (Kapitel 7.3.1). Wir haben dabei zunächst angenommen, dass wir für das Restpotential eine Konstante, z. B. Null, oder eine einfache Funktion, z. B. ein Paraboloid ansetzen können, mit dem „*Confinement*“, das auf einen bestimmten Raumbereich begrenzt wird. In Gleichung (14) haben wir $U_0(x, y) = a(x^2 + y^2)$ mit $a = 0.1$ angesetzt. Damit wurde erreicht, dass die Individuen mit ihrer Dynamik in einem bestimmten Raumbereich um den Nullpunkt herum schwach lokalisiert werden.

Weiter wurde bereits erwähnt, dass man mit diesem Restpotential auch Wechselwirkungen zwischen den Individuen modellieren kann. Ein relativ einfacher und behandelbarer Fall ergibt sich, wenn man parabolische Wechselwirkungspotentiale (lineare Kräfte) zwischen den Partnern ansetzt. Das entspricht dem Ansatz

$$U_0 = a \sum_i (x_i^2 + y_i^2) + \sum_{ij} b_{ij} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)$$

Das führt auf die Kraftfunktion

$$K_i = - \frac{\partial U_0(r_1, \dots, r_N)}{\partial r_i}$$

mit den x-y-Komponenten

$$\begin{aligned} K_{ix} &= -ax_i - b(x_i - R_x) \\ K_{iy} &= -ay_i - b(y_i - R_y) \end{aligned}$$

Hierbei ist R der Schwerpunktsvektor der Partikel mit den Komponenten

$$R_x = \frac{\sum_j m_j x_j}{\sum_j m_j}$$

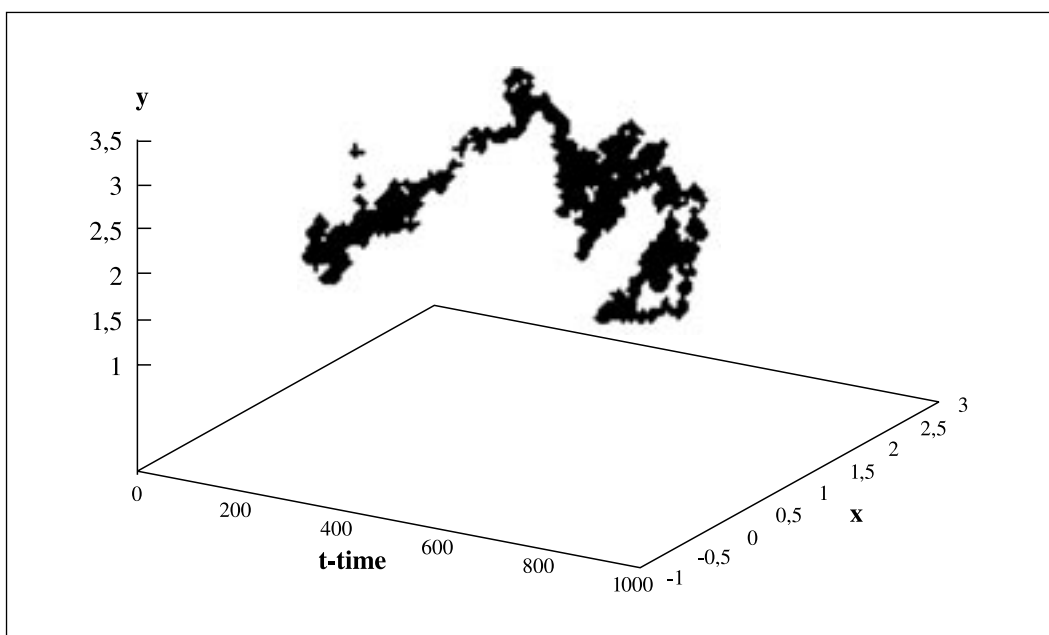
$$R_y = \frac{\sum_j m_j y_j}{\sum_j m_j}$$

Positive Parameter b bedeuten Anziehung zum Schwerpunkt hin und negative b bedeuten Abstoßung vom Zentrum.

Abbildung 37 zeigt die Bewegung einer Gruppe von Agenten, die nur durch Interaktion zusammengehalten werden. Diese Bewegung ist vergleichbar mit der Bewegung, die mit der Simulation *SimKom* erzeugt wurde. Es gibt keine Bewertungslandschaft, an der sich die Spieler orientieren. Die Individuen beziehen sich mit ihren Entscheidungsprozessen aufeinander bzw. auf die Gruppe. Der Wert oder die Norm wird intern erzeugt. Die Individuen nehmen entweder positiv Bezug aufeinander (Imitation) oder versuchen sich abzugrenzen, auszuschwärmen (Aktivität).

Abbildung 37

Freie Bewegung einer Gruppe von Agenten, die durch Interaktion (modelliert als lineare Wechselwirkung) zusammengehalten werden.

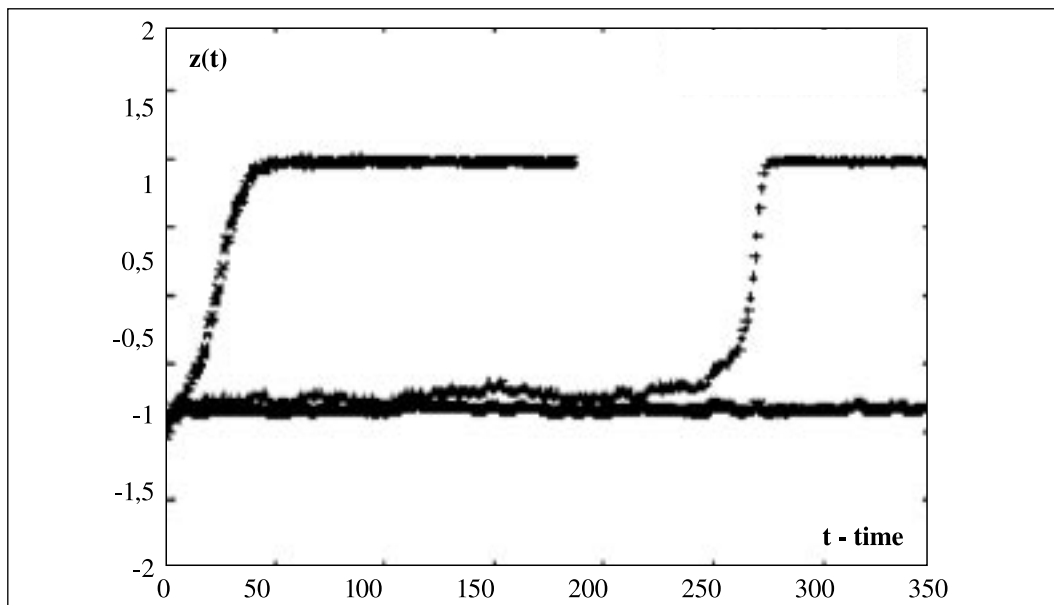


Parameter: $\delta = 3$, $a = 1$, $D = 0.5$, $N = 300$

Der Einfluss konservativer kollektiver Wechselwirkungen auf einen Übergang in einer bistabilen Bewertungslandschaft kann wie folgt beschrieben werden: Die Individuen im linken Minimum halten zusammen und verzögern den Übergang, der dann sehr plötzlich erfolgt. Abbildung 38 zeigt, dass für starke kollektive Interaktion $a = 1.2$ überhaupt kein gemeinsamer Übergang realisiert wird. Für etwas kleinere Werte $a = 1.0$ beobachtet man nach etwa 250 Zeitschritten einen plötzlichen gemeinsamen Übergang und für den halben Wert $a = 0.5$ geht es wesentlich schneller nach etwa 20 Zeitschritten.

Abbildung 38

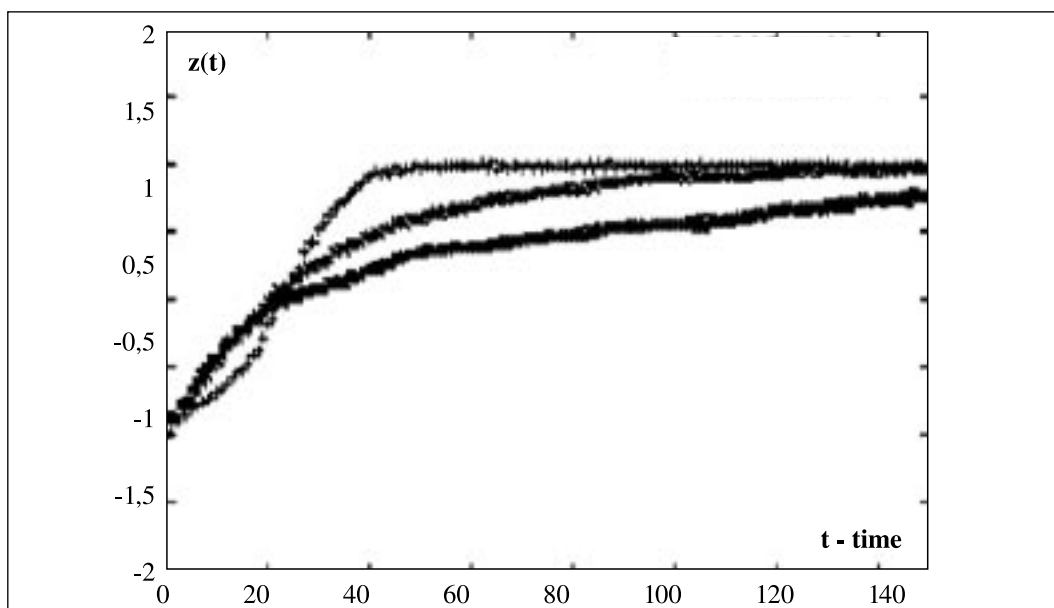
Übergang des Gruppenordners zu einem höheren Gipfel in einem unsymmetrischen Potential



Die Individuen wechselwirken miteinander. Der Parameter a gibt die Stärke einer Interaktion an. Weitere Parameter: $D = 0.1$, $c = 0.1$, $\delta = 2.0$ für folgende Interaktionsstärken $a = 0.5, 1.0, 1.2$ (von links nach rechts)

Abbildung 39

Übergang zwischen unterschiedlich hohen Gipfeln im Fall anziehender und abstoßender Wechselwirkung.



Parameter: $D = 0.1$, $c = 0.1$, $d = 2.0$ und Stärke der Interaktion $a = 0.5, 0.0, -0.2$

In Abbildung 39 (S. 101) wird der Übergang für kleine kollektive Anziehung ($a = 0.5$) verglichen mit dem Fall, dass es keine Interaktion gibt ($a = 0$), und dem Fall, dass es eine kollektive Repulsion gibt ($a = -0.2$). In dem Fall, dass das Gruppenzentrum dominant ist, bleibt die Gruppe länger um den alten Wert zentriert als ohne Interaktion. Andererseits gilt, ist erst einmal die Mehrzahl der Agenten in dem neuen Maximum, dann erfolgt die Neubildung des Gruppenordners an der neuen Position schneller. Anziehende Gruppeninteraktion verlangsamt also erst den Übergang und beschleunigt ihn später. Im Gegensatz dazu scheint sich eine Abstoßung – d. h. die Tendenz der Individuen, sich von der Gruppe zu unterscheiden – abzusetzen, die höhere individuelle Aktivität in keinem Falle eine günstige Wirkung zu haben. Das Verlassen des alten Gruppenwerts erfolgt etwa gleich schnell wie ohne Interaktion, also schneller als mit einem dominanten Gruppenzentrum. Auf der anderen Seite fällt es der Gruppe schwerer, sich wieder auf einen neuen Werteordner zu einigen.

Eine weitere Möglichkeit, Interaktionen einzubauen, sind Wechselwirkungen, die die Geschwindigkeiten miteinander verknüpfen. Damit lässt sich eine Situation modellieren, in der die Individuen bestrebt sind, ihre Eigenschaften in derselben Richtung zu verändern, wie das die Gruppe tut. Das führt zu einer gerichteten Gruppendynamik.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Wir verstehen Evolution als Folge von Selbstorganisationsprozessen, wobei das Auftreten neuer Merkmale eine zentrale Rolle spielt. Im Zusammenhang mit den Universalitätseigenschaften nichtlinearer Phänomene haben die sie beschreibenden wissenschaftlichen Theorien eine Brückenschlagsfunktion zwischen Natur- und Gesellschaftsverständnis übernommen (Mainzer 1997). Wir stehen auf dem Standpunkt, dass es legitim ist zu prüfen, inwieweit das in modernen naturwissenschaftlichen Theorien entwickelte Instrumentarium zur Beschreibung von Entwicklungsprozessen im Bereich von Bildungsprozessen und insbesondere im Hinblick auf die Ausbildung von Kompetenz angewandt werden kann.

Seit der Herausbildung der klassischen Theorien der Selbstorganisation gibt es einen Transfer von Konzepten und Methoden aus den Naturwissenschaften in sozialwissenschaftliche Anwendungsfelder (vgl. Weidlich/Haag 1983, Haag/Mueller/Troitzsch 1992, Laszlo 1992 sowie frühe Arbeiten vgl. Haken 1973, Haken 1977, Prigogine/Sanglier 1985). Dieser hat neben der Erweiterung des methodischen Instrumentariums auch zur Herausbildung neuer Problemfelder in den jeweiligen Disziplinen geführt. Als Beispiel sei hier nur auf das Gebiet der evolutionären Ökonomie (evolutionary economics, vgl. Witt 1993, Hodgson 1998) und die Forschungsrichtung artificial societies (Conte/Gilbert 1994, Epstein/Axtell 1996, Hegselmann 1996, Gilbert 1997) verwiesen. Die vorliegende Arbeit ordnet sich in diesen Kontext des Transfers von Konzepten und Modellen ein.

Aus der Vielfalt mathematischer Modelle werden besonders solche behandelt, die mit dem Konzept von Landschaften in hochdimensionalen Räumen verknüpft sind. Evolution wird als kollektive Suche interagierender Individuen und Gruppen nach lokal besseren Lösungen in einer unbekanntem Landschaft beschrieben. Evolutionsdynamiken in diesem Landschaftsbild werden unter dem Blickpunkt populationsorientierter Konzept- und Modellansätze untersucht. Andere Anwendungen sind von den Autoren auch für weitere soziale Phänomene vorgenommen worden (Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1989, Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1990, Ebeling/Karmeshu/Scharnhorst 2001, Scharnhorst 2001, Scharnhorst/Wouters/Ebeling 2003).

In der Projektausschreibung wurde besonders auf zwei Punkte hingewiesen, die in der heutigen Modellliteratur oft wenig beachtet werden: „Es liegen jedoch, *erstens*, kaum Untersuchungen zur Dynamik selbstorganisierender Systeme aus deutlich differierenden, unähnlichen ‚Partikeln‘ vor. Das aber ist der Normalfall in jeder sozial zusammenwirkenden Gruppe. Die Akteure bringen jeweils sehr unterschiedliche, oft sogar gegenläufige Kompetenzen mit. Deren Zusammenwirken im selbstorganisierten Handeln der Gruppe kann Erfolge beschleunigen oder verhindern. Insbesondere wenn sie sich während der Denk- und Handlungsprozesse

massiv verändern, kann dies zu einer völlig unvorhergesehenen Systemdynamik führen. (...) Eine Grundfrage solcher Modellierungen ist, *zweitens*, inwieweit neben den üblichen Grundkompetenzen – den personalen, aktivitätsbezogenen, fachlich-methodischen und sozial-kommunikativen – eine generalisierte Selbstorganisationsdisposition, eine Selbstorganisationskompetenz existiert, die das Vermögen erfasst, sich überhaupt in Selbstorganisationsprozesse einbinden zu können. Sie hätte den Charakter einer Metakompetenz, wäre Voraussetzung aller anderen Grundkompetenzen.“

Die vorliegende Arbeit beantwortet die erste Frage durch eine spezifische Modellbildung. Zwar beschreiben auch wir keine Individualprozesse der Kompetenzentwicklung im Sinne eines Persönlichkeitsmodells, sondern Gruppenprozesse einer größeren Anzahl von Individuen. Aber indem diese Individuen in einen Kompetenzraum beschrieben werden, ist automatisch eine Individualität der Agenten gegeben. Sie resultiert daraus, dass die Gruppe im Kompetenzraum verteilt ist. Variabilität und Varianz um den Gruppenordner ist Ausdruck individueller Eigenart. Jeder Platz im Kompetenzraum ist einzigartig und entspricht einem einzigartigen Kompetenzprofil. Indem diese Orte durchreist werden können, kann auch Kompetenzentwicklung modelliert werden. Die individuellen Trajektorien im Kompetenzraum entsprechen den individuellen biografischen Erfahrungen. Die Ausweitung des Modells durch Betrachtung von Geschwindigkeiten in diesem individuellen Raum erlaubt es zudem, Metakompetenz zu konzeptualisieren. Simulationen wie *EvoKom*, *SynKom* und *SynKom_Berg* erlauben es, die individuellen Entwicklungsschritte mitzuverfolgen. Gleichzeitig stehen Gruppenprozesse im Vordergrund. Die Parameter, die in den Modellen erscheinen, geben die Rahmenbedingungen für alle Gruppenmitglieder vor. Während das Kompetenzraummodell individuell Kompetenzen als Variablen behandelt, zieht sich das Problemraummodell wieder auf die Gruppensicht von Kompetenzen zurück. In dem zweiten Modell werden Kompetenzen als Gruppen-Parameter behandelt. Dafür erlaubt in diesem Fall die Einführung von Geschwindigkeit, aktivitätsbezogene Kompetenz als eine besondere Grundkompetenz darzustellen.

In allen Modellen, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, geht es um die Lösung eines Grundproblems der Evolution: Wie verlässt die Evolution einmal erreichte Optima und findet neue Lösungen? Wie entsteht Innovation durch Instabilisierung bestehender selbstorganisierter Muster?

Im Fall des Kompetenzraums geht es um den Übergang zu neuen Normen und Werten in einer Gruppe. Wie trägt die Existenz verschiedener Kompetenzprofile in einer Gruppe (Variabilität erreicht durch Mutation), die gegenseitige Bezugnahme und Dominanz des Gruppenwerts und die Gruppenkommunikation of den Wert bestimmter Kompetenzprofile dazu bei, dass sich die Gruppe auf einen anderen Wert im Kompetenzraum verständigt? Die Simulationen zeigen, dass es dabei

um eine optimale Kombination von Variabilität und Normierung geht. Im Fall des Problemraums sind es die Kompetenzen, die die Rolle von Evolutionsmechanismen wie Selektion, Mutation und Imitation übernehmen. In den dazugehörigen Simulationsspielen lässt sich die „optimale“ Kombination solcher Kompetenzen üben.

Fragt man nach möglichen Erweiterungen des in dieser Arbeit erarbeiteten Zugangs, so lassen sich folgende Punkte nennen:

- Verknüpfung von Suchstrategien mit verschiedenen Landschaftsformen. In den *Evolino*-basierten Simulationen wird jeweils von einer prototypischen Landschaft ausgegangen. Hier wäre es denkbar, Spiele zu entwerfen, die unterschiedliche Landschaftstypen enthalten und damit Strategien gegen Landschaften testen lassen. In der *Brown'schen-Agenten-Simulation* ist dies bereits realisiert, allerdings ohne den interaktiven Aspekt.
- Ausbau der Simulationen zum Training der Motivierung bestimmter Kompetenzen in Problemlösungsprozessen. Dazu müsste der Praxisbezug verschiedener Landschaftsformen (externer und interner) stärker herausgearbeitet werden. Welche Lernsituation entspricht welchem Landschaftstyp?
- Einführung individueller Agenten in die *Evolino*-basierten Simulationen. Was geschieht, wenn verschiedene Agenten mit verschiedenen Kompetenzstrategien nicht nur hintereinander, sondern gleichzeitig eine Aufgabe lösen und dabei noch miteinander interagieren. Eine solche Erweiterung erhöht natürlich dramatisch die Parameterzahl im Modell. Wird dies interaktiv gestaltet, besteht aber die Möglichkeit für die Spieler, „ihren“ Agenten zu gestalten. Damit wird sozusagen auf natürlichem Wege die Parametervielfalt begrenzt. Außerdem könnte ein solches Spiel auch zur Beobachtung von gewählten Kompetenzstrategien benutzt werden.

An dem Projekt arbeiteten neben den Autoren Dr. Anne Beaulieu und Thomas Hüsing mit. Besonderer Dank gilt Prof. John Erpenbeck, der durch seine wertvollen Hinweise zur Ausarbeitung der Modelle und Simulationen wesentlich beigetragen hat.

9 Literatur

Ahrweiler, P.; Gilbert, N.: *Computer Simulations in Science and Technology Studies*. Berlin, Heidelberg, New York 1998

Allen, P. M.: *Intelligent, Self-Organizing Models in Economics and Finance*. In: Goonatilake, S.; Treleaven, P. (eds.): *Intelligent Systems for Finance and Business*. Chichester, Wiley 1995, pp. 289-311

Andersen, E. S.: *Evolutionary Economics*. London, New York 1996

Anderson, P. W.: "Suggested model for prebiotic evolution – the use of chaos: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America". In: *Biological Sciences* 80, 11, 1983, pp. 3386-3390

Anishchenko, V. S.; Astakhov, V. V.; Neiman, A.; Vadivassova, T. E.; Schimansky-Geier, L.: *Nonlinear dynamics of chaotic and stochastic systems*. Berlin et al. 2002

Asselmeyer, T.; Ebeling W.: *Mixing thermodynamical and biological strategies in optimization*. In: Schweitzer, F. (ed.): *Self-organization of complex structures*. Amsterdam 1997, pp. 153-163

Asselmeyer, T.; Ebeling, W.; Rosé, H.: *Analytical and numerical investigations of evolutionary algorithms in continuous spaces*. In: Voigt, H.-M.; Ebeling, W.; Rechenberger, I.; Schwefel, H.-P. (eds.): *Proceedings of the 4th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*. Berlin et al. 1996 a

Asselmeyer, T.; Ebeling, W.; Rosé, H.: "Smoothing Representation of Fitness Landscapes – the Genotype-Phenotype Map of Evolution". In: *BioSystems* 39, 1996 b, p. 63

Berliner Erklärung „Innovation und Lernen – Lernen mit dem Wandel“. In: *QUEM-Bulletin* 7/2000, S. 2-3

Bernal, C. I.; Inesta, E. R.: „An interbehavioral analysis of educational processes“. In: *Revista Mexicana de Psicología* 18, 3, 2001, pp. 359-371

Bond, P.: "Knowledge and knowing as structure: a new perspective on the management of technology for the knowledge based economy". In: *International Journal of Technology Management* 20, 5-8, 2000, pp. 528-544

Börner, K.; Chen, C.; Boyack, K. W.: „Visualizing Knowledge Domains“. In: ARIST 37, 2002

Boseniuk, T.; Ebeling, W.: Boltzmann-, Darwin- and Haeckel-Strategies in Optimization Problems. In: Schwefel, H.-P.; Männer, P. (eds.): Parallel Problem Solving from Nature. Proceedings 496. Berlin et al. 1991, pp. 430-444

Boseniuk, T.; Ebeling, W.; Engel, A.: „Boltzmann and Darwin Strategies in Complex Optimization“ In: Physics Letters A 125, 1987, p. 307

Bruckner, E.; Ebeling, W.; Scharnhorst, A.: „Stochastic dynamics of instabilities in evolutionary systems“. In: System Dynamics Review 5, 2, 1989, pp. 176-191

Bruckner, E.; Ebeling, W.; Scharnhorst, A.: „The Application of Evolution Models in Scientometrics“. In: Scientometrics 18, 1-2, 1990, pp. 21-41

Chen, C.: Mapping Scientific Frontiers: The Quest for Knowledge Visualization. London 2003

Conrad, M.: Evolution of the adaptive landscape. In: Heim, R.; Palm, G. (eds.): Theoretical approaches to complex systems. Heidelberg 1978, pp. 147-169

Conrad, M.: Adaptability. The Significance of Variability from Molecule to Ecosystems. New York 1983

Conrad, M.; Ebeling, W.: “M. V. Volkenstein, evolutionary thinking and the structure of fitness landscapes“. In: BioSystems 27, 1992, pp. 125-128

Conte, R.; Gilbert, G. N.: Artificial societies: the computer simulation of social life. Oxford 1994

Ebeling, W.: Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen. Leipzig 1976

Ebeling, W.; Engel, A.; Esser, B.; Feistel, R.: „Diffusion and reaction in random media and models of evolution processes“. In: Journal of Statistical Physics 37, 3-4, 1984, pp. 369-384

Ebeling, W.; Engel, A.; Feistel, R.: Physik der Evolutionsprozesse. Berlin 1990

Ebeling, W., Engel, H.; Herzel, H.-P.: Selbstorganisation in der Zeit. Berlin 1990

Ebeling, W.; Feistel, R.: Evolution of Complex Systems. Dordrecht 1990

Ebeling, W.; Feistel, R.: Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution. Heidelberg, Berlin, Oxford 1994

Ebeling, W.; Karmeshu, M. A.; Scharnhorst, A.: „Dynamics of Economic and Technological Search Processes in Complex Adaptive Landscapes. Advances in Complex Systems”. In: Helbing, D.; Schweitzer, F. (guest eds.): Complex Dynamics in Economics 4, 1, 2001, pp. 71-88

Ebeling, W.; Karmeshu, A.; Scharnhorst, A.: Economic and technological search processes in a complex adaptive landscape. In: Kertesz, J.; Kondor, I. (eds.): Econophysics. Dordrecht 1998

Ebeling, W.; Schweitzer, F.: „Swarms of Particle Agents with Harmonic Interactions“. In: Theory in Biosciences 120, 3-4, 2001, pp. 207-224

Ebeling, W.; Schweitzer, F.; Tilch, B.: „Active Brownian motion with energy depots modelling animal mobility”. In: BioSystems 49, 1999, pp. 17-29

Ebeling, W.; Sokolov, I.: Statistical thermodynamics and stochastic theory of non-equilibrium systems. Singapore 2005

Ebeling, W.; Schimansky-Geier, I.; Neimann, A.; Scharnhorst, A.: „Stochastic dynamics of active agents in external fields“. In: Fluctuation and Noise Letters 5, 2, 2005, pp. L185-L192

Epstein, J. M.; Axtell, R.: Growing artificial societies: social science from bottom up. Cambridge, London 1996

Erdmann, U.; Ebeling, W.; Schimansky-Geier, L.: „Brownian particles far from equilibrium“. In: European Physical Journal B 15, 1, 2000, pp. 105-113

Erpenbeck, J.: “Synergetik, Wille, Wert und Kompetenz”. In: Ethik und Sozialwissenschaften 7, 1996, S. 4

Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Die Kompetenzbiographie. Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation. edition QUEM, Band 10. Münster, New York, München, Berlin 1999 a

Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer. QUEM-report, Heft 62. Berlin 1999 b

Erpenbeck, J.; Rosenstiel, L. v.: Handbuch Kompetenzmessung. Stuttgart 2003

Erpenbeck, J.; Weinberg, J.: Lernen in der Leonardo-Welt. In: Mittelstraß, J.: Leonardo-Welt. Frankfurt am Main 1992

Feistel, R.; Ebeling, W.: „Models of Darwin processes and evolution principles“. In: BioSystems 15, 1982, pp. 291-299

Feistel, R.; Ebeling, W.: Evolution of Complex Systems. Berlin 1989

Feudel, U.; Grebogi, C.: “Multistability and the control of complexity”. In: CHAOS 7, 4, 1997, p. 597-604

Fontana, W.; Stadler, P. F.; Bornberg-Bauer, E. G.; Griesmacher, T.; Hofacher, M.; Tacker, P.; Tarazone, P.; Weinberger, E. D.; Schuster, P.: „RNA-folding and combinatory landscapes“. In: Phys. Rev. E. 47, 3, 1993, pp. 2083-2099

Fujigaki, Y.: Interaction between the Science Arena and the Policy Arena in the Public Sphere: Validation Boundaries and Cultural Styles. In: Dresner, S.; Gilbert, N. (eds.): The Dynamics of European Science and Technology Policies. Aldershot, UK 2001, pp. 165-181

Fujigaki, Y.; Leydesdorff, L.: “Quality Control and Validation Boundaries in a Triple Helix of University-Industry-Government: Mode 2 and the Future of University Research”. In: Social Science Information 39, 4, 2000, pp. 635-655

Galison, P.: Image and logic: a material culture of microphysics. Chicago, London 1997

Gilbert, G. N.: „A simulation of the structure of academic science“. In: Sociological Research Online 2, 2, 1997, pp. 1-2

Haag, G.; Mueller, U.; Troitzsch, K. G.: Economic evolution and demographic change. Berlin 1992

Haken, H.: Synergetics. An Introduction. Berlin, Heidelberg 1973

Haken, H.: „Cooperative phenomena in systems far from equilibrium and in non-physical systems“. In: Rev. Mod. Phys 47, 1975, pp. 67-121

Haken, H.: Synergetics. A Workshop. Berlin, Heidelberg 1977

Haken, H.: Advanced Synergetics. Berlin 1983

Haken, H.: Principles of Brain Functioning. Berlin, Heidelberg 1995

Haken, H.; Haken-Krell, M.: Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung. Stuttgart 1992

Hamel, G.; Prahalad, C. K.: Competing for the future. Boston 1994

Hannan, M. T.; Freeman, J.: Organizational Ecology. Cambridge, London 1989

Hegselmann, R.: Cellular automata in the social sciences. In: Hegselmann, R.; Mueller, U.; Troitzsch, K. G. (eds.): Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view. Berlin 1996, pp. 209-233

Hodgson, G. M.: The foundations of evolutionary economics: 1890-1973, vol. I-II. Cheltenham, UK, Northampton, MA 1998

Hofbauer, J.; Sigmund, K.: Evolutionstheorie und dynamische Systeme. Berlin, Hamburg 1984

Jimenez-Montano, M. A.; Ebeling, W.: „Astochastic evolutionary model of echnological change“. In: Collective Phenomena 3, 1980, pp. 107-114

Kauffman, S.: Der Öltropfen im Wasser. München 1995

Kauffman, S. A.: The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. New York 1993

Knudsen, C.; Foss, N. J.: Towards a Competence Theory of the Firm. London, New York 1996

Krugman, P.: The self-organizing economy. Oxford 1996

Kühn, R.; Menzel, R.; Menzel, W.; Ratsch, U.; Richter, M. M.; Stamatescu, I.-O. (eds.): Adaptivity and learning. An interdisciplinary debate. Berlin et al. 2003

Laszlo, E.: Evolutionäres Management. Fulda 1992

Leydersdorff, L.: The Challenge of Scientometrics: the development, measurement and self-organization of scientific communications. Leiden 1995

Leydersdorff, L.: A sociological Theory of Communication: The Self-Organization of the Knowledge-Based Society. Parkland, FL 2001

Mahajan, V.; Peterson, P. A.: Models for innovation diffusion. Beverly Hills 1985

- Mainzer, K.: Thinking in Complexity. Berlin, Heidelberg 1997
- Maturana, H. R.; Varela, F. J.: The Tree of Knowledge. Boston 1988
- Metcalf, J.: Evolution and economic change. In: Technology and economic progress. London 1989, pp. 54-85
- Metcalf, J. S.; Gibbons, M.: Technology, Variety and Organization: A Systematic Perspective on the Competitive Process. In: Rosenbloom, R. S.; Burgelman, R. A. (eds.): Research on Technological Innovation. Management and Policy. Greenwich 1989, pp. 153-193
- Nelson, R.; Winter, S. G.: An evolutionary theory of economic change. Cambridge, MA 1982
- Nicolis, G.: Introduction to Nonlinear Science. Cambridge 1995
- Nicolis, G.; Prigogine, L.: Self-Organization in Nonequilibrium Systems. New York 1977
- Nicolis, G.; Prigogine, I.: Die Erforschung des Komplexen. München 1987
- Peschel, M.; Mende, W.: The predator-prey model: do we live in a Volterra world. Berlin 1986
- Prigogine, I.; Sanglier, M.: Laws of Nature and Human Conduct. Brussels 1985
- Reglin, T.; Hölbling, G.: Computerlernen und Kompetenz. Bielefeld 2004
- Rosé, H.: Evolutionäre Strategien und Multitome Optimierung. Berlin 1998
- Roughgarden, J.: Theory of population genetics and evolutionary ecology. New York 1979
- Rychen, D. S.; Salganik, L. H. (eds.): Defining and selecting key competencies. Seattle, Toronto, Bern, Göttingen 2001
- Rychen, D. S.; Salganik, L. H. (eds.): Key competencies for a successful life and a well-functioning society. Seattle, Toronto, Bern, Göttingen 2003
- Saviotti, P. P.: Technological evolution, variety and the economy. Cheltenham, UK 1996

Saviotti, P. P.; Metcalfe, J. S.: *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*. Chur 1991

Scharnhorst, A.: Modelle von Wertedynamik und Kompetenzentwicklung. In: *Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer*. QUEM-report 62. Berlin 1999, S. 106-140

Scharnhorst, A.: Constructing Knowledge Landscapes within the Framework of Geometrically Oriented Evolutionary Theories. In: Matthies, M.; Malchow, H.; Kriz, J. (eds.): *Integrative Systems Approaches to Natural and Social Sciences Systems Science 2000*. Berlin 2001, pp. 505-515

Scharnhorst, A.; Wouters, P.; Ebeling, W.: Scientific Information in Continuous Characteristics Spaces. In: Guohua, J.; Rousseau, R.; Yishan, W. (eds.): *The Proceedings of the 9th International Conference on Scientometrics and Informetrics*. Peking 2003, pp. 280-288

Schuster, P.; Stadler, P. F.: „Landscapes: complex optimization problems and biopolymer structures“. In: *Computers Chem* 18, 1994, pp. 295-314

Schwefel, P.: *Evolution and Optimum seeking*. New York 1995

Schweitzer, F.: *Brownian agents and active particles*. Berlin et al. 2002

Schweitzer, F.; Ebeling, W.; Rosé, H.; Weiss, O.: Network Optimization Using Evolutionary Strategies. In: Voigt, H.-M.; Ebeling, W.; Rechenberger, I.; Schwefel, H.-P. (eds.): *Proceedings of the 4th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*. Berlin et al. 1996, pp. 940-949

Schweitzer, F.; Ebeling, W.; Rosé, H.; Weiss, O.: „Optimization of road networks using evolutionary strategies“. In: *Evolutionary Computation* 5, 1997, pp. 419-438

Schweitzer, F.; Ebeling, W.; Tilch, B.: „Complex motion of Brownian particles with energy depots“. In: *Physical Review Letters* 80, 23, 1998, pp. 5044-5047

Schweitzer, F.; Ebeling, W.; Tilch, B.: „Statistical mechanics of canonical-dissipative systems and applications to swarm dynamics“. In: *Physical Review E* 64, 2001, pp. 021110-021112

Steuernagel, O.; Ebeling, W.; Calenbuhr, V.: „An elementary model for the directed active motion“. In: *Chaos, Solitons & Fractals* 4, 10, 1994, pp. 1917-1930

Sydow, J.; Duschek, S.; Möllering, G.; Rometsch, M.: Kompetenzentwicklung in Netzwerken. Wiesbaden 2003

Thom, R.: *Stabilité Structurelle et Morphogenèse*. New York 1972

Troitzsch, K. G.: Simulation and structuralism. In: Hegselmann, R.; Mueller, U.; Troitzsch, K. G. (eds.): *Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view*. Berlin 1996, pp. 183-208

Troitzsch, K. G.: Social simulation – origins, prospects, purposes. In: Conte, R.; Hegselmann, R.; Terna, P. (eds.): *Simulating Social Phenomena* 456, 1997, pp. 41-54

Tschacher, W.; Dauwalder, J.-P. (eds.): *Dynamics, synergetics, autonomous agents. Studies of non-linear phenomena in life sciences*. Singapore, New Jersey, London 1999

Webster, F.: *Theories of the information society*. New York 1995

Weidlich, W.: “Physics and the Social Science – the Approach of Synergetics”. In: *Physics Reports* 204, 1, 1991, pp. 1-163

Weidlich, W.: *Sociodynamics: A Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. Amsterdam 2000

Weidlich, W.; Haag, G.: *Concepts and Models of Quantitative Sociology*. Berlin 1983

Westhoff, F. H.; Yarbrough, B. V.; Yarbrough, R. M.: “Complexity, organization and Stuart Kauffman’s the origin of order”. In: *Journal of Economic Behaviour and Organization* 29, 1996, pp. 1-25

Wielinga, B. J.; Akkermans, J. M.; Schreiber, A. T.: „A competence theory approach to problem solving method construction“. In: *International Journal of Human-Computer Studies* 49, 4, 1998, pp. 315-338

Witt, U.: *Evolutionary Economics*. Aldershot, UK 1993

Wright, S.: “The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution”. In: *Sixth International Congress on Genetics* 1, 6, 1932, pp. 356-366

**Metakompetenzen und Kompetenzentwicklung
in interkulturellen Lerngruppen**

**Selbstorganisationsmodelle für die Erklärung
komplexer Gruppenphänomene**

Dörte Martens und Christof Nachtigall

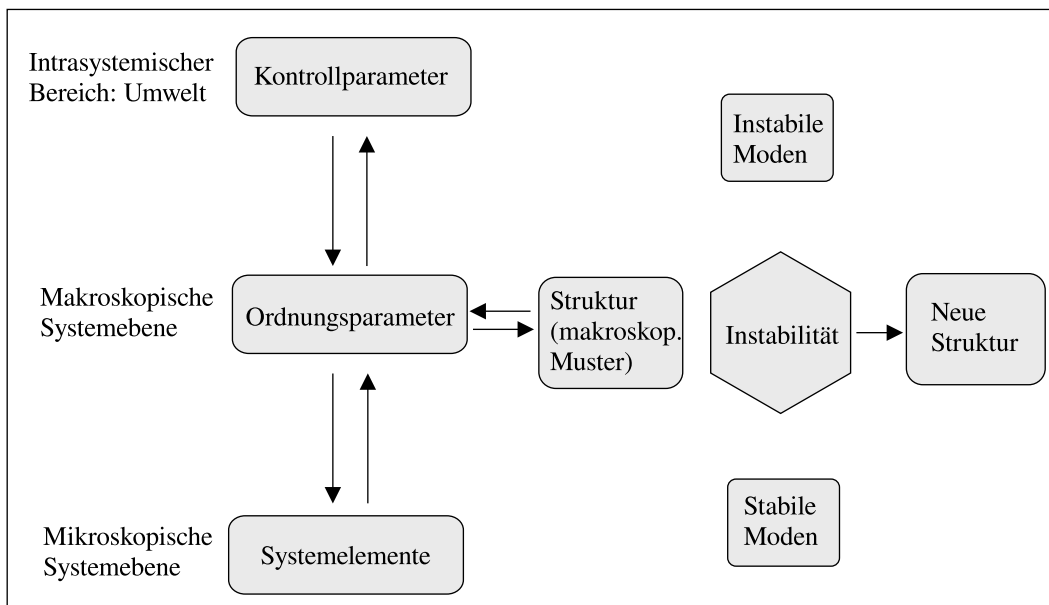
1 Einleitung

Selbstorganisation stellt inzwischen ein populäres Schlagwort dar, das nichtlineare Wechselbeziehungen und komplexe Dynamiken beschreibt, die unstrukturierte Zustände in unvorhersehbare strukturierte Zustände überführen. Für die Untersuchung komplexer Gruppenphänomene, die eine dynamische Entwicklung aufweisen, scheint eine Methode indiziert, welche die Prozesshaftigkeit der Phänomene zum Gegenstand hat sowie die Wirkung unspezifischer äußerer Einflüsse einschließt. Dies ist im Prinzip der Selbstorganisation gewährleistet (Haken 1990) und konnte bereits zur Erklärung komplexer sozialwissenschaftlicher Gruppenphänomene beitragen (Nachtigall 1998, Pyka 1999).

Der Kerngedanke besteht in der zirkulären Kausalität unterschiedlicher Systemebenen: Die auf der mikroskopischen Ebene befindlichen Individuen bilden durch selbstorganisierte Interaktion ein Muster auf der makroskopischen Ebene. Dieses Muster wirkt wiederum ordnend auf die Individuen zurück: Es „versklavt“ sie, sich dem Muster entsprechend zu verhalten. Damit wird die wechselseitige Abhängigkeit beider Ebenen verdeutlicht. Die Ordnungsparameter der makroskopischen Ebene weisen eine unabhängige Dynamik auf und stellen die wesentlichen Variablen des Systems dar (Haken 1995). Äußere Einflüsse der Umwelt wirken als Kontrollparameter auf das System (Abbildung 1).

Abbildung 1

Prinzip der Phasenübergänge in komplexen dynamischen Systemen



Um ein aussagekräftiges Modell zur Erklärung sozialwissenschaftlicher Phänomene zu entwickeln, werden Vorgaben aus empirisch fundierten Theorien hergeleitet. Anhand weniger Einflussvariablen unter Einbeziehung der Systemdynamik können bereits komplexe soziale Gruppenphänomene abgebildet werden: In der synergetischen Theorie der Normendynamik nutzt Nachtigall (1998) die Synergetik als formalen Rahmen zur Erklärung fremdenfeindlicher Gewalt in Gruppen. Unter Einbeziehung der Systemdynamik kann Gewaltbereitschaft in Gruppen erklärt werden. Dabei wird die Gruppennorm als selbstorganisierter Ordnungsparameter betrachtet, der sich aus der Interaktion der Individuen bildet und diese rückwirkend wieder beeinflusst. Die Dynamik der Gruppennorm stellt die theoretische Erklärung für die Gruppenpolarisierung dar. Die Analyse zeigt einen qualitativen Wandel des Systemverhaltens aufgrund der Gruppensituation: Bei starker Interaktion auf individueller Ebene kommt es zur Extremisierung der Gruppennorm, die entweder auf dem gewaltbereiten oder auf dem gewaltfreien Pol liegt. Der Trend zur Gewalt, der als Kontrollparameter in das System eingeht, führt zu einer gesteigerten Häufigkeit auf dem gewaltbereiten Pol. Damit bietet das Modell einen Erklärungsansatz für die Gewaltbereitschaft nicht auffälliger Täter durch die Dynamik der Gruppennorm, der von klassischen Methoden der Sozialpsychologie bisher nicht erbracht werden konnte. Erst bei Erreichen eines bestimmten Schwellenwerts ändert sich das individuelle Verhalten.

Eine Erweiterung dieses Ansatzes stellt das Modell des Minoritäteneinflusses dar, der ebenfalls unter Berücksichtigung der Systemdynamik erklärt werden kann (Martens/Nachtigall 2006 – im Druck). Hier zeigen sich bei Veränderung der Gruppenkohäsion zwei mit der empirischen Befundlage übereinstimmende Ef-

fekte unter Beachtung weniger Variablen sowie der Systemdynamik: Zum einen bewirkt eine hohe Gruppenkohäsion eine Homogenisierung der Gruppe und die Varianz der Meinungen aller Gruppenmitglieder sinkt, zum anderen bewirkt eine hohe Gruppenkohäsion eine Polarisierung auf dem innovativen Pol der Minoritätsmeinung, die sich mit zunehmenden Interaktionsmöglichkeiten noch verstärkt. Die Gruppenkohäsion übt einen stärkeren Einfluss als die Gruppennorm aus, der sich mit fortschreitender Zeit extremisiert. Inhaltlich wird die argumentative Überzeugung auf der sachlichen Ebene, die zum Meinungswechsel führt, abgebildet. Die Gruppenkohäsion stellt einen nicht-linearen Einfluss auf die Meinungsentwicklung dar. Die Möglichkeit des synergetischen Ansatzes der Betrachtung der wechselwirkenden Dynamik zeigt eine wertvolle Bereicherung bisheriger sozialpsychologischer Forschung und soll in einem Modell der Kompetenzentwicklung genutzt werden.

2 Kompetenzentwicklung

Die veränderte Bedarfslage im Ausbildungssektor spiegelt sich sowohl in der Umstrukturierung firmenspezifischer Aufgaben als auch in der Entwicklung des Schulsystems: Ein selbstständiger Wissenserwerb und Wissenskommunikation treten immer stärker in den Vordergrund, was veränderte intellektuelle Fähigkeiten von den Lernenden erfordert. Während in der Vergangenheit insbesondere fachspezifische Qualifikationen zur Bearbeitung vorgegebener Aufgaben in klar definierten Situationen verlangt wurden, wird heute immer stärker selbstorganisiertes Lernen und Arbeiten gefordert: Die wichtigsten Anforderungen an Mitarbeiter stellen künftig „Lernfähigkeit“ und „Flexibilität“ dar (Bronner 1994 in Kauffeld 1998).

Erst durch die Analyse der Wirkmechanismen von Kompetenz und Selbstorganisation in interkulturellen Gruppen können eine produktive Zusammenarbeit gefördert und eventuelle Störfaktoren minimiert werden. Förderliche Potentiale können bewusst geschaffen und unterstützt werden.

Der Wandel der Fokussierung von Qualifikationen hin zu Kompetenzen im Aus- und Weiterbildungssektor (Mittelstraß 1999) lässt sich anhand von drei Dimensionen kontrastieren:

- *Anforderungsprofil:* Qualifikationen stellen Fähigkeiten und Fertigkeiten dar, die zur Bewältigung strukturierter Anforderungen benötigt werden. Kompetenz dagegen richtet sich auf die Bewältigung von unstrukturierten und sich verändernden Anforderungen, die den selbstorganisatorischen Aspekt des Lernens erfordern (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003).
- *Transparenz:* Qualifikationen sind sachverhaltszentriert, ihre Ausprägung ist durch normierbare Prüfungen zu messen. Kompetenzen beinhalten selbstorganisierte und kreative Tätigkeit. Sie sind nicht direkt überprüfbar, sondern lediglich aus der Realisierung der Dispositionen erschließbar.
- *Problemlösungsstrategie:* Bei der Anwendung von Qualifikationen wird implizit davon ausgegangen, dass die Zielfunktion bekannt ist. Das Optimum wird angestrebt, während die Unsicherheit in Lösungsnähe abnimmt. Zur Lösung ist eine Gradientenstrategie (Ebeling/Freund/Schweitzer 1998) notwendig. Kompetenzen dagegen ermöglichen einen Suchprozess, der bei Problemsituationen mit mehrdeutigen Lösungen einsetzt: Die endgültige Lösung ist unbekannt und erst im Verlauf des Prozesses zu erzeugen. Zur Lösung sind Evolutionsstrategien (Ebeling/Freund/Schweitzer 1998) nötig. Kreative neue Lösungen müssen durch Selbstorganisation im Problemlöseprozess erzeugt werden.

In Anlehnung an die wissenschaftliche Perspektive werden unter Kompetenz unterschiedliche spezifizierte Handlungsfähigkeiten verstanden, die Auskunft über die individuelle Organisation der Weltbeziehungen Einzelner geben (Veith 2003). Kompetenz beschreibt eine Selbstorganisationsdisposition: die Befähigung und Motivation zur selbstständigen Erweiterung von Wissen und Können, die aus unterschiedlichen Kompetenzklassen resultieren (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003):

- *Fachlich-methodische Kompetenzen* beschreiben die Fähigkeit von Individuen, instrumentell selbstorganisiert zu handeln bei der Lösung von sachlich-gegenständlichen Problemen: sowohl die selbstorganisierte methodische Gestaltung als auch die kreative Weiterentwicklung von Methoden und Wissen (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003).
- *Sozial-kommunikative Kompetenzen* umfassen Fähigkeiten zur kreativen und kooperativen Auseinandersetzung mit anderen sowie die gemeinsame Entwicklung von Zielen auf gruppenorientierter Basis (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003).
- *Personale Kompetenzen* beschreiben die Fähigkeiten einer Person, reflexiv selbstorganisiert zu handeln. Sie umfassen Selbsteinschätzung und die Entfaltung eigener Begabungen, Motivationen und Leistungsvorsätze als auch Kreativität und ständiges Lernen (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003).
- *Aktivitäts- und umsetzungsorientierte Kompetenzen* bestehen in der Möglichkeit, aktiv und selbstorganisiert zu handeln und auf die Umsetzung von Absichten zu übertragen, auf sich selbst bezogen oder mit anderen. Das Ziel ist die Integration aller übrigen Kompetenzklassen in die eigenen Willensantriebe und die erfolgreiche Realisierung von Handlungen (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003).

Kompetenzen entwickeln sich im Zeitverlauf, sie werden „von Wissen fundiert, durch Werte konstituiert, als Fähigkeiten disponiert, durch Erfahrungen konsolidiert [und] aufgrund von Willen realisiert“ (Erpenbeck 1998). Für die Kompetenzentwicklung sind unterschiedliche Ebenen relevant:

- der intraindividuelle Prozessbereich, der das Individuum und sein individuelles Handeln und Erleben innerhalb einer Gruppe und einem sozialen Kontext zum Gegenstand hat: die individuelle Kompetenzentwicklung;
- der interindividuelle Prozessbereich, in dem soziale Interaktionen auf Gruppenebene zwischen den Individuen stattfinden: die Kompetenzentwicklung in der Gruppe;
- der Bereich des Umfelds, der äußere Einflüsse auf das System darstellt: die Aufgabenstellung.

3 Kompetenzentwicklung in Gruppen

Das flexible, selbstorganisierte Lernen nimmt in Arbeitsgruppen einen hohen Stellenwert ein, insbesondere zur Elaboration unterschiedlicher Ideen und Perspektiven bei innovativen Problemlösungsprozessen. Trotz der zunehmenden Bedeutung von Gruppenarbeit sind die spezifischen Wirkfaktoren nach wie vor nicht bekannt (Podsiadlowski 2002).

Die Leistung einer Gruppe wird determiniert durch die potentielle Gruppenleistung, die eine Gruppe erbringen kann, wenn sie die ihr zur Verfügung stehenden Ressourcen wie Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Werkzeuge und Zeit optimal einsetzt, um den Anforderungen der Aufgabe gerecht zu werden (Wilke/Wit 2003). Diese wird durch die fachlich-methodische Kompetenz (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003) repräsentiert. Ein Teil der Informationen innerhalb der Gruppe ist allen Mitgliedern bekannt: die geteilten Informationen. Ein anderer Teil, das Spezialwissen, ist lediglich einer oder wenigen Individuen der Gruppe bekannt. Der Austausch dieser ungeteilten Informationen führt zu einer hohen Gruppeneffektivität. Die sozial-kommunikative Kompetenz führt zu einer Expertenrollenzuweisung, die einen Austausch des Spezialwissens hervorruft (Wilke/Wit 2003).

Prozessverluste

Das Erreichen der potentiellen Produktivität der Gruppe wird durch Prozessverluste, etwa Koordinierungsverluste, die auf der sozial-kommunikativen Ebene stattfinden, verhindert. Der Effekt des gemeinsamen Wissens – „Common knowledge effect“ – beschreibt die Tendenz von Gruppenmitgliedern, sich auf geteilte Informationen zu beschränken, statt die Informationen, die lediglich ihnen selbst zugänglich sind, in den gemeinsamen Problemlösungsprozess der Gruppe einzubringen (Gigone/Hastie 1997 in Wilke/Wit 2003).

Auch Gruppenprozesse, die auf der makroskopischen Ebene der Gruppe selbst entstehen wie normativer und informativer Druck, wirken hemmend auf den Austausch ungeteilter, individueller fachlich-methodischer Kompetenz und vermindern die Elaboration und Darstellung neuer, dem Gruppenkonsens widersprechender Informationen.

Prozessgewinne

Die tatsächliche Gruppenleistung kann durch Prozessgewinne, die in der Gruppe entstehen, gesteigert werden. Prozessgewinne werden insbesondere bei Auf-

gabensituationen mit kooperativer Interdependenz beobachtet, bei der ein Erfolg jedes Mitglieds der Gruppe die Chancen für einen Erfolg der anderen Mitglieder verbessert (Wilke/Wit 2003). Insbesondere durch die Nutzung der vorhandenen Ressourcen der Gruppe wird Gruppeneffektivität erreicht.

Diversität

Eine Kompetenzsteigerung innerhalb einer Gruppe wird durch abweichende Personen und unterschiedliche Perspektiven ermöglicht, weil ein konstruktiver kognitiver Konflikt ausgelöst wird und zu einer Integration innovativen und divergenten Denkens führt (Wilke/Wit 2003). Dieser positive Effekt wird dann ausgelöst, wenn in der Gruppe eine Expertenrollenzuweisung stattfindet, die zu einer stärkeren Zuwendung nicht geteilter Informationen führt. In interkulturellen Gruppen besteht eine Diversität aufgrund der unterschiedlichen kulturellen Hintergründe, in denen der Fokus nicht nur auf die fachlich-methodische Kompetenz, sondern auch auf die sozial-kommunikative Kompetenz gelegt werden muss, um das Problemhandeln in Gruppen kreativ nutzen zu können.

Diversität stellt ein wesentliches Bestimmungsmerkmal von Gruppen dar. Sie ist als Unterschied von Weltanschauung, Werten, Normen und Einstellungen von Individuen oder Gruppen zu verstehen, der zu potentiellen Verhaltensunterschieden führt (Triandis 1994). Aufgrund einer zunehmend interkulturell gestalteten Gesellschaft hat Diversität als Forschungskonzept insbesondere seit den 90er Jahren an Bedeutung gewonnen.

Es zeigt sich, dass multikulturelle Gruppen besonders effektiv oder besonders ineffektiv arbeiten im Vergleich zu homogenen Gruppen, d. h. ihre Gruppenmittelwerte liegen entweder deutlich über oder deutlich unter den Mittelwerten homogener zusammengesetzter Gruppen (Kovac 1980 in Smith/Noakes 1996, Barry/Stewart 1997). Die Richtung der Unterschiedlichkeit zwischen homogenen und heterogenen zusammengesetzten Gruppen ist aus der theoretischen Befundlage nicht einheitlich ableitbar oder gar vorhersagbar. Sie hängt davon ab, ob potentielle Stärken als Synergieeffekte genutzt werden oder ihre Arbeit durch Koordinations- und Integrationsprobleme behindert werden (Podsiadlowski 2002). Die spezifischen Wirkzusammenhänge bedürfen genauer Untersuchung. Dazu bietet sich die Betrachtung der Kompetenzentwicklung in multikulturell zusammengesetzten Gruppen an.

Das Konzept multipler Perspektiven impliziert eine Divergenz und gegenseitige Anerkennung von Perspektiven sowie die Internalisierung neuer Meinungen, Werte und fachlicher Ressourcen. Es wurde gezeigt, dass durch die Integration multipler Perspektiven die Gruppenproduktivität langfristig steigt (Pantaleo/Wicklund 2000). Die Internalisierung unterschiedlicher Perspektiven geschieht nicht auto-

matisch, sondern durch die aktive Imitation, Übung und das aktive Kombinieren unterschiedlicher Elemente. Eine individuelle Kompetenzentwicklung der Gruppenmitglieder findet statt. Die entscheidende Einflussvariable zur Imitation und Integration unterschiedlicher Perspektiven liegt in Disposition zur Selbstorganisation, einer Metakompetenz. Wenn diese hoch ist, kommt es bei einem starken Austausch ungeteilter Informationen zur Integration neuer Information in die individuelle fachlich-methodische Kompetenz sowie die sozial-kommunikative Kompetenz.

In einer homogen zusammengesetzten Gruppe ist der Anteil geteilter Informationen hoch, der Anteil ungeteilter Informationen gering. Die potentielle Gruppenleistung ist geringer als in heterogenen Gruppen.

In einer heterogen zusammengesetzten Arbeitsgruppe ist der Anteil geteilter Informationen gering, der Anteil ungeteilter Informationen hoch, was zu einer hohen potentiellen Gruppenleistung führt. Durch eine Zuschreibung von Expertentum innerhalb der Gruppe, die aus der sozial-kommunikativen Kompetenz resultiert, kommt es zum Informationsaustausch ungeteilter Informationen in der Gruppe, der eine Annäherung an die potentielle Gruppenleistung bewirkt, da ungeteilte Informationen ausgetauscht und zur Aufgabenbewältigung herangezogen werden.

Bei sehr starker Diversität innerhalb einer Gruppe wird der Informationsaustausch zwischen den Gruppenmitgliedern jedoch durch Koordinierungsverluste auf der Basis der sozial-kommunikativen Kompetenz erschwert. Der Bereich der geteilten Information, der die Basis für ihre Kommunikation darstellt, ist nicht ausreichend für eine Integration unterschiedlicher Kompetenzen.

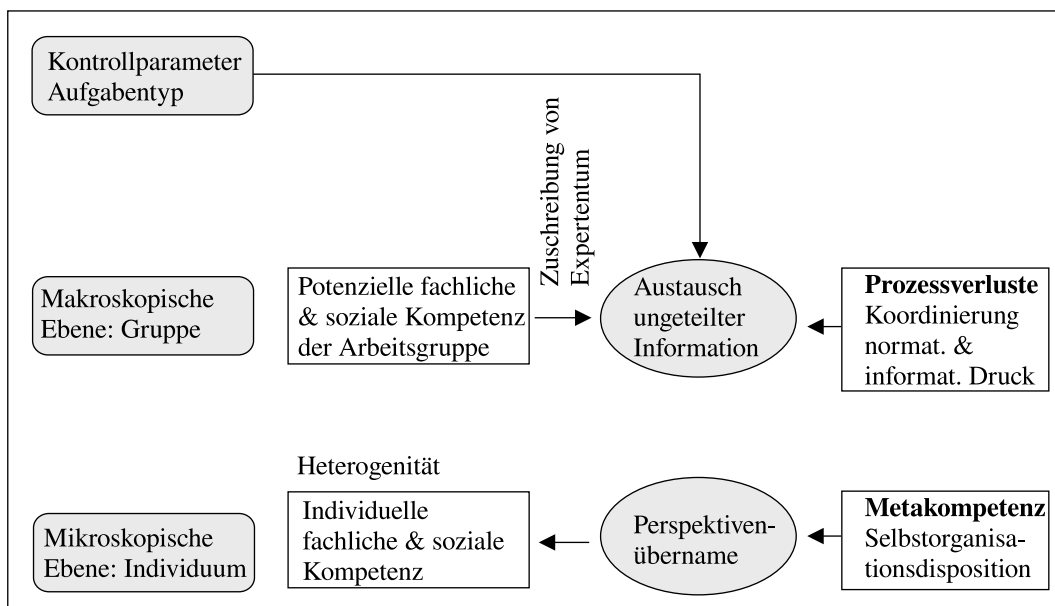
Das bedeutet, bei mittlerer Heterogenität der Profile der Gruppenmitglieder ist die Wahrscheinlichkeit einer Expertenrollenzuweisung am höchsten. Je höher die Disposition zur Selbstorganisation, desto wahrscheinlicher können diese neuen Kompetenzanteile individuell integriert werden. Dies führt zu einem Steigen der individuellen sowie gruppenbezogenen Kompetenz, fachlich-methodisch und sozial-kommunikativ, und damit zu einer höheren Wahrscheinlichkeit der Aufgabenbewältigung durch die Gruppe.

4 Kompetenz-Entwicklungs-Modell

Auf Grundlage dieser theoretisch fundierten Vorgaben wird ein Kompetenz-Entwicklungs-Modell erstellt und formalisiert. Die sozial-kommunikativen Kompetenzen stellen die Basis für den Informationsaustausch der Gruppenmitglieder untereinander dar. Die fachlich-methodische Kompetenz entwickelt sich in Abhängigkeit von dem Informationsaustausch. Die Metakompetenz der einzelnen Personen determiniert das Ausmaß für die Aufnahme und Integration neuer Informationen, d. h. die Fähigkeit zur Kompetenzentwicklung. Die Entwicklung der sozial-kommunikativen und der fachlich-methodischen Kompetenz steht im Zentrum des Interesses. Die Kompetenzentwicklung in der Gruppe wird durch das Maß an Heterogenität der Mitglieder beeinflusst: Bei homogenen sowie stark heterogenen Gruppen, in denen keine gemeinsame Verständigungsbasis besteht, sinkt der Austausch ungeteilter Informationen und die Kompetenzentwicklung (Abbildung 2).

Abbildung 2

Modell der Kompetenzentwicklung in Gruppen



Die Entwicklung der individuellen fachlich-methodischen und sozial-kommunikativen Kompetenz geschieht in Abhängigkeit von zwei Variablen: dem Informationsaustausch und der Disposition zur Selbstorganisation.

- Der *Informationsaustausch* wird im Wesentlichen von zwei Prozessen bestimmt. Zum einen kann es durch eine fehlende Zuschreibung und Anerkennung von Expertentum in homogen zusammengesetzten Gruppen zu Prozessverlusten kommen. Ein lediglich auf die geteilten Informationen

bezogener Austausch verhindert eine Kompetenzentwicklung. Die Diversität der Kompetenzausprägungen der Individuen soll folgenden Einfluss auf das Muster auf der Makroebene ausbilden: Bei Homogenität ist aufgrund eines geringen Austauschs ungeteilter Informationen kein Einfluss der makroskopischen Systemebene auf die individuelle Kompetenzentwicklung zu verzeichnen. Ähnlich verhält es sich bei sehr heterogenen Arbeitsgruppen, da in dem Falle die gemeinsame sozial-kommunikative Basis zum Informationsaustausch fehlt, neue Perspektiven aufgrund starker Diversität nicht in die vorhandene Kompetenzbasis integrierbar sind und eine Kompetenzentwicklung nicht stattfindet. Bei Heterogenität mittlerer bis hoher Ausprägung zeigt sich aufgrund ungeteilter Informationen und Expertenrollenzuweisung ein starker Informationsaustausch von Spezialwissen und damit ein Einfluss der Gruppenebene auf die einzelnen Individuen. Ein Kompetenzzuwachs durch Integration neuer Informationen wird durch die Anerkennung von Expertentum und dem dadurch starken Austausch ungeteilter Informationen möglich.

- Die *Disposition zur Selbstorganisation* der Individuen innerhalb der Gruppe trägt dazu bei, dass diverse Standpunkte in das eigene Kompetenzniveau integriert werden. Sie bestimmt die Möglichkeit einer Perspektivenübernahme und Kompetenzentwicklung. Sie wird in diesem Modell als Konstante formalisiert, die für alle Gruppenmitglieder gleich ist. Auf die Kompetenzentwicklung wirkt die Selbstorganisations-Disposition durch zwei aufeinander folgende Prozesse: Bei starker Ausprägung der Disposition kommt es in der Gruppensituation zur Internalisierung der neuen Perspektive aus der Gruppe in das individuelle fachlich-methodische und sozial-kommunikative Wissensrepertoire und damit eine Steigerung der Handlungsfähigkeit. Dadurch wird im nächsten Schritt die Bearbeitung ungewöhnlicher Probleme anhand innovativer Lösungen ermöglicht und eine Kompetenzentwicklung hervorgerufen. Die Systemdynamik wird von der Metakompetenz folgendermaßen determiniert: Je stärker die Selbstorganisationsdisposition ausgeprägt ist, desto stärker ist die Perspektivenübernahme, d. h. desto stärker werden neue Kompetenzanteile individuell integriert und resultieren in einer Kompetenzentwicklung sowohl auf der Gruppenebene als auch daraus resultierend auf der Individualebene.

Die Wechselwirkungen werden anhand von Veränderungsgesetzmäßigkeiten beschrieben.

Auf der mikroskopischen Systemebene befinden sich zunächst vier Individuen mit unterschiedlichen Kompetenzausprägungen. Sie interagieren auf dieser Ebene durch Kommunikation und Informationsaustausch. Alle, zunächst vier, Personen der Gruppe sind durch einen Wert auf der fachlich-methodischen und einen Wert auf der sozial-kommunikativen Kompetenzdimension gekennzeichnet. Die Perso-

nen der Gruppe interagieren in Dyaden miteinander: Pro Iterationsschritt besitzt eine zufällig gewählte Person die Möglichkeit zur Kompetenzentwicklung, die durch konkrete Veränderungsschritte repräsentiert wird. Im nächsten Iterationsschritt kann die Fortsetzung der Gruppensituation abgebildet werden, eine weitere individuelle Kompetenzentwicklung ist möglich. Komplexe Gruppeninteraktionen werden durch viele separate Einzelentscheidungen in Iterationsschritten repräsentiert.

Die Entwicklung der individuellen Kompetenz der *zufällig gewählten Person* x_p geschieht durch die Integration neuer Informationen in die bereits vorhandene sozial-kommunikative sowie die fachlich-methodische Kompetenzstruktur. Dies geschieht in Abhängigkeit von der *Selbstorganisationsdisposition* a , die einen Wertebereich von 0 bis 3 annimmt. Ist der Wert hoch, so ist die Integration neuer Elemente ebenfalls hoch, d. h. die Kompetenzausprägung steigt.

Die makroskopische Systemebene stellt die aus dem Informationsaustausch resultierende Kompetenzentwicklung der Gruppe dar und wirkt zirkulär wieder auf die einzelnen Individuen zurück. Auf dieser Ebene findet die synergetische Musterbildung statt. Im Fokus steht, wie sich Heterogenität in interkulturellen Arbeitsgruppen auf die Kompetenzentwicklung auswirkt. Diese Veränderung findet im mittleren Bereich der Diversität einer Gruppe statt. Die extremen Bereiche erzielen keine Kompetenzänderung, wie es aus den inhaltlichen Vorgaben begründet ist: Bei geringer Diversität hindert der normative und informative Gruppendruck die Kompetenzentwicklung, bei starker Diversität in der Gruppe ist aufgrund von Koordinierungsverlusten kein Austausch von Informationen möglich.

Die tatsächliche Aktion der jeweiligen Person – Kompetenzentwicklung oder nicht – hängt von dem Informationsaustausch auf der Gruppenebene zu dem jeweiligen Zeitpunkt ab. Die individuelle Kompetenzentwicklung im jeweiligen Schritt beeinflusst dann wiederum die Gruppennorm, da sich diese aus dem durchschnittlichen Wert aller individuellen Kompetenzen zusammensetzt. Damit ist die zirkuläre Kausalität des Systems gegeben. Die individuelle Meinungsbildung wird in Abhängigkeit vom Gruppendurchschnitt betrachtet, während im nächsten Schritt dieser individuelle Prozess wieder die Gruppenkompetenz beeinflusst.

Die potentielle Gruppenkompetenz ergibt sich aus dem Durchschnitt der individuellen fachlich-methodischen Kompetenz-Ausprägung aller Gruppenmitglieder. Sie kann in jedem Iterationsschritt einen veränderten Wert annehmen. Die Kompetenz entwickelt sich als Funktion der *Zeit* t . Die *Prozessverluste* gehen als *Parameter* b in die Gleichung ein. Die *fachlich-methodische Gruppenkompetenz* FK_{Gruppe} geht ebenfalls in die Kompetenzentwicklung des Individuums ein, allerdings wird ihr Wert durch 10 dividiert, da der Informationsaustausch zeitlich verzögert zu einer

Kompetenzsteigerung führt. Daraus ergeben sich für die Veränderung folgende Gesetzmäßigkeiten:

Für die Prozessgewinne durch individuelle Selbstorganisationsdisposition ergibt sich:

$$\left[x_p + a \cdot (x_p) \frac{FK_{GRUPPE}}{IO} \right] \quad (1)$$

Für die Prozessverluste durch fehlenden Austausch ungeteilter Informationen ergibt sich:

$$b - [x_p \cdot (1 - x_p)] \quad (2)$$

Daraus resultiert die Gleichung für die Kompetenzentwicklung x der individuellen Personen:

$$\left[x_p + a \cdot (x_p) \frac{FK_{GRUPPE}}{IO} \right] + b \cdot [x_p \cdot (1 - x_p)] \quad (3)$$

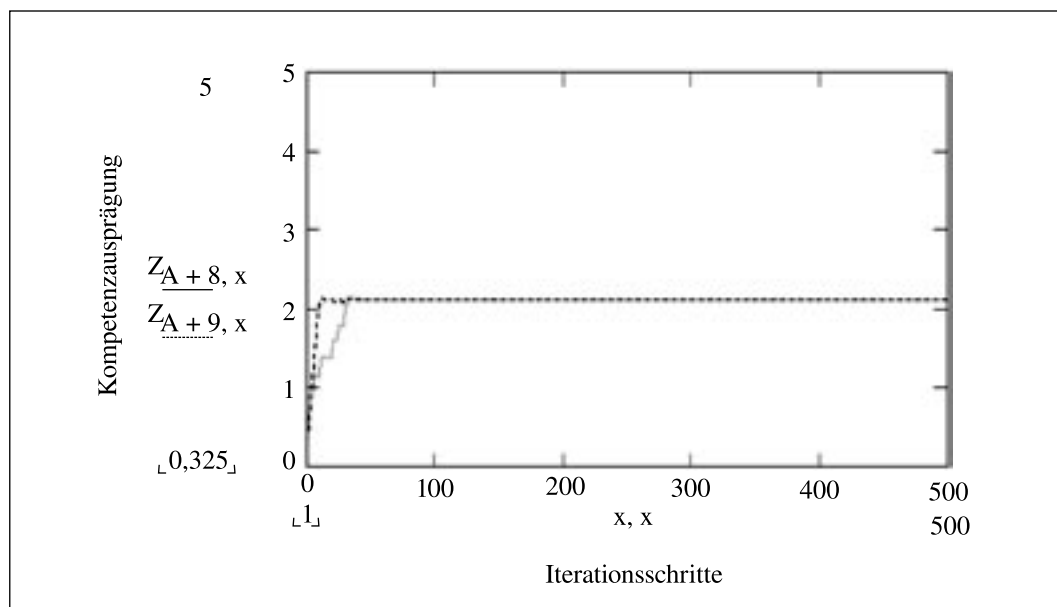
Das formalisierte Kompetenz-Entwicklungs-Modell wird anhand von Computersimulationen überprüft. Anhand der Simulationsexperimente können qualitative Aspekte über die Prozessdynamik der Kompetenzentwicklung in der Gruppe analysiert werden. Die Simulation ist als Gedankenexperiment zu betrachten und bietet den Vorteil gegenüber der experimentellen Sozialforschung, dass sie beliebig oft wiederholt werden kann, ohne einen Bias zu verursachen. Dadurch ist eine Annäherung an die stabile Grenzverteilung gegeben, die verallgemeinerbare Aussagen über den Prozess der Gruppenentwicklung erlaubt. Das Modell bietet dann eine hohe Gültigkeit, wenn es einen in der Empirie beobachteten Prozess anhand weniger Einflussvariablen unter Berücksichtigung der Systemdynamik darstellen kann.

5 Ergebnisse und Interpretation

Im Fokus des Kompetenz-Entwicklungs-Modells steht die Entwicklung der fachlich-methodischen und der sozial-kommunikativen Kompetenz der Arbeitsgruppenmitglieder im zeitlichen Verlauf. Es werden Einzelverläufe der Simulationen gezeigt. Zunächst wird der Wert für die Prozessverluste konstant gehalten, während der Parameter a , der die Selbstorganisationsdisposition repräsentiert, variiert. In den Abbildungen 3 bis 6 sind jeweils die Verläufe der sozial-kommunikativen (durchgezogene Linie) und der fachlich-methodischen (gestrichelte Linie) Kompetenz über die Iterationsschritte hinweg dargestellt.

Abbildung 3

Kompetenzentwicklung bei $a = 1.0$

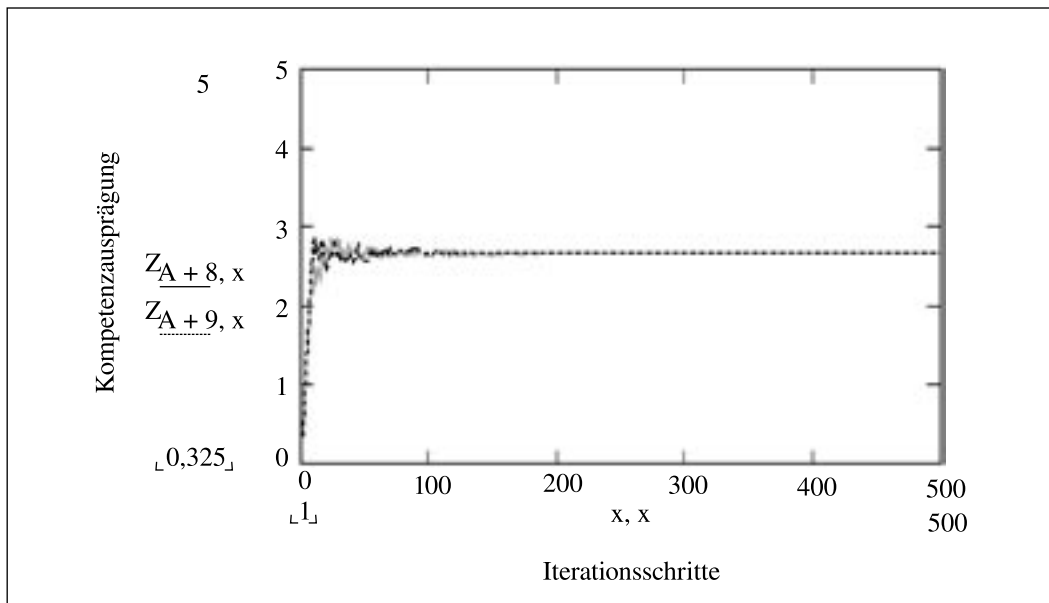


Es zeigt sich bereits nach ca. 30 Iterationsschritten für beide Kompetenzdimensionen ein stabiler Fixpunkt, der denselben Wert annimmt. Die fachlich-methodische Kompetenzentwicklung nimmt einen steileren Anstieg an als die Entwicklung der sozial-kommunikativen Kompetenz. Nach Überprüfung dieses Verhaltens zeigt sich jedoch, dass es sich um eine zufällige Abweichung der beiden Kompetenzdimensionen handelt. Es hängt davon ab, welche Kompetenz zuerst zufällig gezogen wird und eine Veränderung erreichen kann.

Das qualitative Muster bleibt auch bei Erhöhung des Parameters a erhalten: der Fixpunkt liegt bei einem höheren Wert, d. h. die Kompetenzentwicklung findet einen Attraktor auf einem höheren Kompetenzniveau, wenn die Selbstorganisation in der Gruppe hoch ist.

Abbildung 4

Kompetenzentwicklung bei $a = 1.7$



Bei niedrigen Werten für die Selbstorganisationsdisposition zeigt sich nach einer geringen Anzahl von Iterationsschritten eine ausgeprägte Kompetenzentwicklung. Dies ist übereinstimmend mit dem Befund, dass Gruppen in der Informationssammelungsphase zu Beginn einer Arbeitsaufgabe – etwa durch Brainstorming – besonders hohe Effektivität zeigen, insbesondere dann, wenn ungeteilte Informationen ermittelt werden (Wilke/Witt 2003). Eine ausgeprägte Kompetenzentwicklung findet statt. Die Selbstorganisationsdisposition gibt das Kompetenzniveau vor: Der stabile Fixpunkt des Kompetenzniveaus im System steigt mit steigender Selbstorganisationsdisposition.

Interessant wird das Systemverhalten bei Überschreitung eines Schwellenwerts für die Selbstorganisationsdisposition. Der Fixpunkt wird viel später erreicht, die Systemdynamik ist nicht mehr vorhersagbar. Erst nach etwa 200 Iterationsschritten gibt es eine Tendenz für ein stabiles Kompetenzniveau, und erst nach ca. 1000 Iterationsschritten zeigt sich ein stabiler Attraktor.

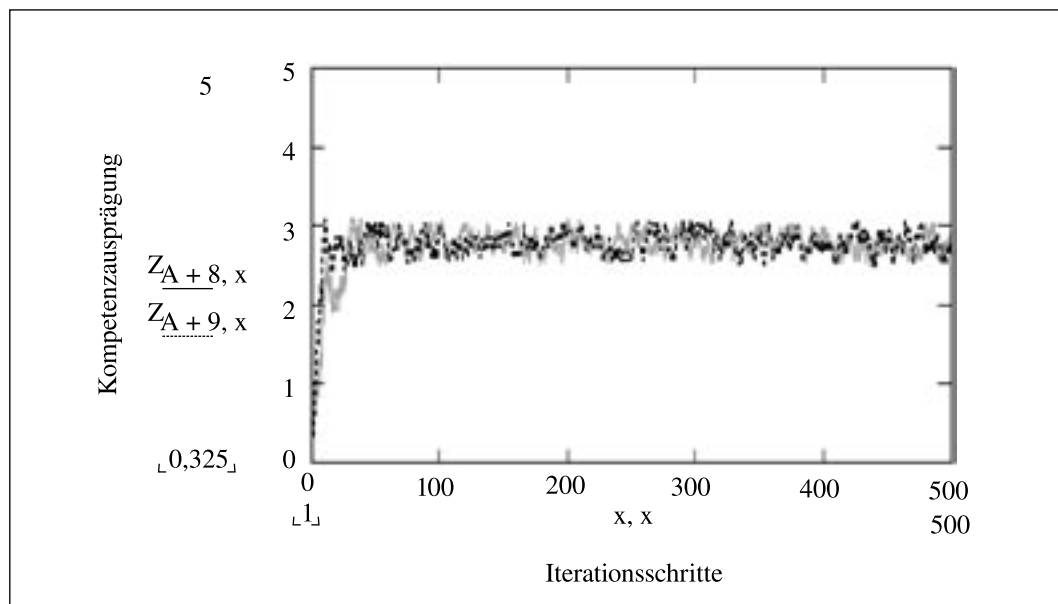
Immer noch verlaufen die Entwicklung der sozial-kommunikativen und der fachlich-methodischen Kompetenz parallel. Nun stellt sich die Frage, wie es zu einem unterschiedlichen Kompetenzniveau nach einer Zeitspanne kommt. Hier spielt das Niveau der Selbstorganisationsdisposition eine entscheidende Rolle.

Trotz konstant gehaltener Prozessverluste schwankt die Kompetenzentwicklung erheblich auf einem höheren Niveau als in Situationen mit geringem Wert für die Selbstorganisationsdisposition. Zu erklären ist dies durch bei steigender Leistung stärker werdende Motivationsverluste Einzelner wie etwa dem Trotteleffekt (Kerr

1983 in Baron/Kerr/Miller 1992), der darin besteht, dass Individuen ihre Motivation verringern aufgrund der Wahrnehmung, dass andere Gruppenmitglieder ihre Beiträge zurückhalten, oder durch soziales Faulenzen, das die Verringerung des individuellen Beitrags aufgrund einer wahrgenommenen Entbehrlichkeit innerhalb einer großen Gruppe darstellt (Latané 1979 in Baron/Kerr/Miller 1992). Die erneute Steigerung auf ein höheres Kompetenzniveau auf der Gruppenebene ist als soziale Kompensation zu verstehen. Diese bewirkt eine stärkere Anstrengung bei einer Gruppenaufgabe, um den tatsächlichen und wahrgenommenen Mangel an Anstrengung oder Fähigkeit aufseiten anderer Gruppenmitglieder auszugleichen (Wilke/Witt 2003).

Abbildung 5

Kompetenzentwicklung bei $a = 1.9$



Das nicht vorhersagbare Systemverhalten extremisiert sich mit Anstieg der aktivitätsbezogenen Kompetenz (Abbildung 5 und 6).

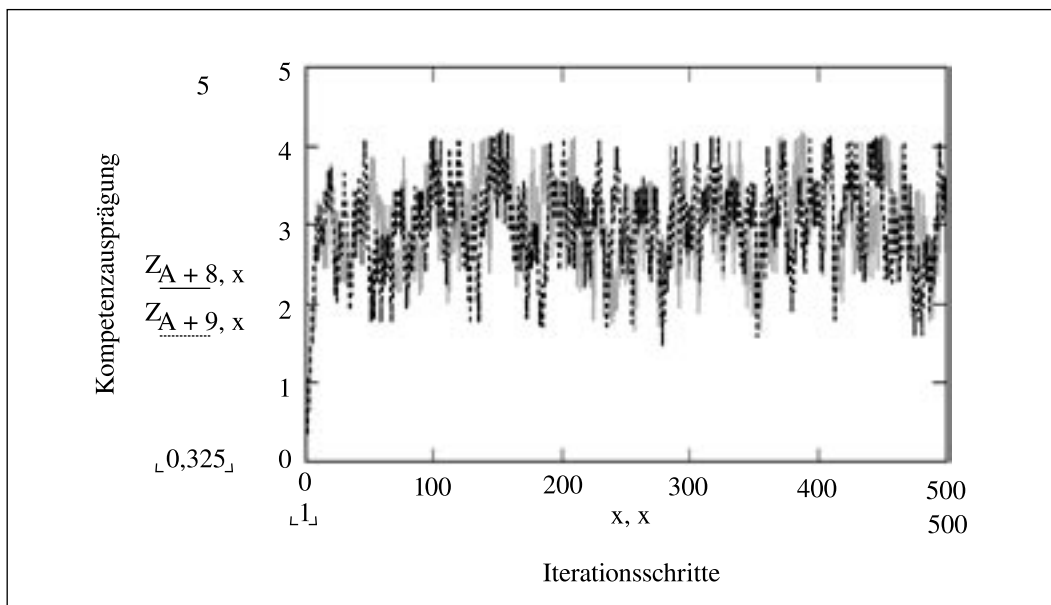
Bei stark ausgeprägter Disposition zur Selbstorganisation lassen sich nur Vorhersagen über eine Tendenz der Kompetenzentwicklung treffen. Das Kompetenzniveau auf der fachlich-methodischen sowie auf der sozial-kommunikativen Dimension unterliegt starken Schwankungen, bewegt sich jedoch auf einem allgemein höheren Niveau als bei geringer Selbstorganisationsdisposition.

Es zeigt sich: Je höher der Wert für die Selbstorganisationsdisposition steigt, desto weniger ist das Systemverhalten vorhersagbar, desto stärker zeigen sich die quantitativen Unterschiede der fachlich-methodischen und der sozialen Kompetenz in der Gruppe.

Das beschriebene Systemverhalten zeigt sich ebenso bei geringen Prozessverlusten. Dann ist ein unvorhersagbares, chaotisches Verhalten bereits bei einer schwachen Disposition zur Selbstorganisation zu beobachten. Das ist inhaltlich plausibel, da bei geringen Prozessverlusten die Kompetenzentwicklung bereits nach kurzer Zeit ein hohes Niveau erreicht. Das unvorhersagbare Verhalten tritt bei Erreichen eines bestimmten Kompetenzniveaus auf. Die Erklärung liegt im Sinken der Motivation und der darauf folgenden Kompensationsstrategie anderer Gruppenmitglieder zur Erhaltung der Leistung.

Abbildung 6

Kompetenzentwicklung bei $a = 2.5$



6 Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Untersuchung mit Fokus auf psychologische Prozesse der Kompetenzentwicklung zeigt sich, dass ein synergetisches Modell der Kompetenzentwicklung ein großes Potential aufweist, Wechselbeziehungen zwischen Individuum, Gruppe und äußeren Faktoren zu erklären. Im Modell werden als Systemelemente die Individuen einer interkulturell zusammengesetzten Gruppe dargestellt; den Ordnungsparameter stellt der Informationsaustausch auf der Gruppenebene dar, der durch den Effekt des gemeinsamen Wissens und der individuellen Disposition zur Selbstorganisation beeinflusst wird.

Die Ausgangssituation besteht aus einer Gruppe, deren Individuen einen unterschiedlichen interkulturellen Hintergrund besitzen, der sich in einer Diversität der Kompetenzen zeigt. Die Systemdynamik wird untersucht und dargestellt. Zur Überprüfung des Modells muss eine systematische Variation des Anfangszustands stattfinden, um eventuelle Grenzen zu erkennen und die Unabhängigkeit der Systemdynamik von der Initialbedingung zu testen.

Darüber hinaus sollte zur Zielsetzung weiterer Forschung gehören, eine empirische Basis für die Kohäsion zu schaffen. Vorstellbar ist die Konzeption eines diagnostischen Instruments zur Messung der jeweiligen Prozessgewinne und -verluste, das auch in realen Gruppen zur Anwendung kommen kann, um das Potential der Gruppe zu untersuchen. Damit werden Interventionen zur Unterstützung des Lernprozesses in der Gruppe ermöglicht.

Erweiternd muss die Betrachtung äußerer Faktoren einbezogen werden. In der Forschung werden spezifische Wirkmechanismen von strukturierten, klar zielgerichteten Aufgaben und solchen, die eine unspezifische Zielsetzung haben, differenziert (z. B. Ebeling/Engel/Feistel 1990). Diese können im nächsten Schritt als Kontrollparameter in das Modell mit eingehen: Denkbar ist eine Klassifikation von Aufgaben, die über die zweidimensionale Kategorisierung hinausgeht und sich an die Kompetenzdimensionen nach Erpenbeck und von Rosenstiel (2003) anlehnt. Dies ist möglich durch die Kompetenzzuschreibung einer Person mit Hilfe eines Vektors, der alle vier Dimensionen repräsentiert. Ein Zielvektor auf der Aufgabenebene kann für jede Aufgabe ermittelt werden, der sich nach der Anforderung an Informationsaustausch innerhalb der Gruppe und die Kompetenzzusammensetzung richtet. In der Simulation kann ein Abgleich des minimalen Zielzustands und der Vektoren der Gruppe stattfinden, der eine Aussage über die Aufgabenlösung ermöglicht.

Die Entwicklung der sozial-kommunikativen und der fachlich-methodischen Kompetenz konnte empirischen Befunden analog abgebildet werden, ohne das

Heranziehen unzähliger Zusatzvariablen. Dies passierte durch die Fokussierung der nicht-linearen Dynamik des Systems. Für die aktivitäts- und umsetzungsbezogene Kompetenz muss die empirische Befundlage der Sozialpsychologie, der Organisationswissenschaften und anderer relevanter Disziplinen untersucht werden, um eine dynamische Modellierung dieser Kompetenzdimension voranzutreiben. Dieser Ausblick impliziert eine Möglichkeit der Diversität der Individuen auf der mikroskopischen Systemebene, was inhaltlich eine wichtige Bedeutung darstellt. Auch der wechselseitige Einfluss der Kompetenzdimensionen untereinander muss theoretisch begründbar untersucht werden, um als Vorgabe in die Modellierung mit eingehen zu können.

Durch die Entwicklung einer fortschreitenden Internationalisierung von Unternehmen wird in den letzten Jahren erkannt, dass durch eine Integration interkultureller Perspektiven neben möglichen Schwierigkeiten auch ein hohes Potential an Synergieeffekten besteht, die einer weiteren Untersuchung bedürfen. Im Kontext der pädagogischen Forschung in Schulen sollten diese Ansätze ebenfalls erkannt und genutzt werden. Die praktische Ausrichtung ist der nächste Schritt, für den die vorliegende Arbeit eine empirisch fundierte Grundlage und eine Methode zur Abbildung komplexer Dynamiken bietet.

Literatur

Baron, R.; Kerr, N.; Miller, N.: Group process, group decision, group action. Buckingham 1992

Barry, B.; Stewart, G. L.: Composition, Process, and Performance in Self-Managed Groups: The Role of Personality. In: Journal of Applied Psychology, 82, 1997, pp. 62-78

Dehnbostel, P.; Elsholz, U.; Meister, J.; Meyer-Menk, J. (Hrsg.): Vernetzte Kompetenzentwicklung. Alternative Positionen zur Weiterbildung. Berlin 2002

Ebeling, W.; Freund, J.; Schweitzer, F.: Komplexe Strukturen: Entropie und Information. Stuttgart, Leipzig 1998

Ebeling, W.; Engel, A.; Feistel, R.; Physik der Evolution & Berlin 1990

Erpenbeck, J.: Chaos, Selbstorganisation und Kompetenzentwicklung. In: Lernen im Chaos. Lernen für das Chaos. QUEM-report, Heft 52. Berlin 1998, S. 51-58

Erpenbeck, J.: Kompetenzentwicklung in selbstorganisierten Netzwerkstrukturen. In: Dehnbostel, P.; Elsholz, U.; Meister, J.; Meyer-Menk, J. (Hrsg.): Vernetzte Kompetenzentwicklung. Alternative Positionen zur Weiterbildung. Berlin 2002, S. 201-222

Erpenbeck, J.: Der Programmbereich „Grundlagenforschung“. In: Zwei Jahre „Lernkultur Kompetenzentwicklung“. QUEM-report, Heft 79. Berlin 2003 a, S. 7-89

Erpenbeck, J.: Schlüssel zur Zukunft. Theorie und Geschichte kompetenzbasierter Lernkultur. In: Was kann ich wissen? Theorie und Geschichte von Lernkultur und Kompetenzentwicklung. QUEM-report, Heft 82. Berlin 2003 b, S. 5-10

Erpenbeck, J.; v. Rosenstiel, L.: Einführung. In: Erpenbeck, J.; v. Rosenstiel, L. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung. Stuttgart 2003, S. IX-XL

Haken, H.: Synergetik: eine Einführung; Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie. Berlin, Heidelberg: 1990

Haken, H.: Ordnung aus dem Chaos. In: Gorgé, V.; Moser, R. (Hrsg.): Begegnungen mit dem Chaos: Referate einer Vorlesungsreihe des collegium generale der Universität Bern. Bern, Stuttgart, Wien 1995

Kauffeld, S.: Unternehmensflexibilität und Kompetenzentwicklung. In: Kompetenzentwicklung für den wirtschaftlichen Wandel. Erste Zwischenbilanz zum Forschungs- und Entwicklungsprogramm. QUEM-report, Heft 55. Berlin 1998, S. 44-67

Mittelstraß, J.: Lernkultur – Kultur des Lernens. In: Kompetenz für Europa. Wandel durch Lernen – Lernen im Wandel. Referate auf dem internationalen Fachkongress, Berlin 1999. QUEM-report, Heft 60. Berlin 1999, S. 49-63

Nachtigall, C.: Selbstorganisation und Gewalt. Münster 1998

Pantaleo, G.; Wicklund, R. A.: Multiple Perspectives: Social Performance Beyond the Single Criterion. In: Zeitschrift für Sozialpsychologie, 31, 4, 2000, S. 231-242

Podsiadlowski, A.: Multikulturelle Arbeitsgruppen in Unternehmen. Bedingungen für erfolgreiche Zusammenarbeit am Beispiel deutscher Unternehmen in Südostasien. Münster 2002

Pyka, A.: Der kollektive Innovationsprozess. Eine theoretische Analyse informeller Netzwerke und absorptiver Fähigkeiten. Berlin 1999

Smith, P. B.; Noakes, J.: Cultural differences in group processes. In: West, M. A. (Hrsg.): Handbook of Work Group Psychology-Oxford 1996, S. 477-501

Stroebe, W.; Hewstone, M.; Codol, J-P.; Stephenson, G. (Hrsg.): Sozialpsychologie: Eine Einführung. Berlin, Heidelberg 1992

Triandis, H. C.: Culture and Social Behavior. New York 1994

Veith, H.: Kompetenzen und Lernkulturen. Zur historischen Rekonstruktion moderner bildungsleitsemantiken. edition QUEM, Band 15. Münster, New York, München, Berlin 2003

West, M. A. (Hrsg.): Handbook of Work Group Psychology. Oxford 1996.

Wilke, H.; Wit, A.: Gruppenleistung. In: Stroebe, H.; Jonas, K.; Hewstone, M. (Hrsg.): Sozialpsychologie: Eine Einführung. Heidelberg 2003, S. 497-535

Selbstorganisation als Metakompetenz

Klaus North, Peter Friedrich und Annika Lantz

Vorbemerkung

Der Begriff der Selbstorganisation findet zunehmend Eingang in die populäre Management-Literatur. Eine tiefergehende, empirisch fundierte Analyse des Phänomens der Selbstorganisation aus Sicht der Kompetenzforschung fehlt jedoch bisher. Unser Projekt will einen Beitrag leisten zum Verständnis und zur Entwicklung von Kompetenzen zur Selbstorganisation durch die Erforschung tatsächlich vorhandener Lernkulturen und Kompetenzentwicklungswege, um darauf aufbauend aktuelle und künftige Gestaltungsmöglichkeiten auszuloten. Aus theoretischer Sicht soll die Frage untersucht werden, ob Selbstorganisation als eine „Metakompetenz“ aufgefasst werden kann.

Die folgenden Ausführungen bauen auf die Publikation „Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation“ (North/Friedrich/Lantz 2005) im Sammelband „Kompetenzmessung im Unternehmen“ auf, die Grundlagen des damals noch nicht abgeschlossenen ABWF-Projekts „Selbstorganisation als Metakompetenz“ darstellt. Es wird dem Leser daher empfohlen, auf die genannte Publikation zurückzugreifen. Zur Erleichterung der Lesbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Argumentation haben die Autoren bewusst bereits publizierte Passagen aus dem ersten Bericht in die vorliegenden Ausführungen übernommen.

1 Selbstorganisation lernen und leben

Schnelle Veränderungen, beschleunigte Lernprozesse und Problemlösungen sowie eine steigende Komplexität der Informationsverarbeitung und Wissensgenerierung kann nicht durch deterministische Managementmodelle bewältigt werden (vgl. North/Friedrich/Lantz 2005). Für Organisationen und Personen gewinnt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit zur Selbstorganisation an Bedeutung. Die Ergebnisse der empirischen Studie von Zulieferbeziehungen aus der Perspektive der Selbstorganisation (North/Friedrich 2002) gibt Hinweise darauf, dass eine eventuelle Fähigkeit zur Selbstorganisation nicht isoliert von anderen vorhandenen Kompetenzen betrachtet werden kann.

Die Autoren berichten im Folgenden über ein Forschungsprojekt, Selbstorganisation ausgehend von einem kompetenztheoretischen Ansatz als Metakompetenz zu modellieren. Die durchgeführten empirischen Untersuchungen sollen dabei in erster Linie helfen, die theoretischen Bestandteile des Konstrukts „Selbstorganisation“ greifbar, begreifbar und daraus folgend auch gestaltbar zu machen.

Ausgangspunkt für das Vorgängerprojekt dieser Studie (North/Friedrich 2002) war die Beobachtung, dass Unternehmen sowohl eine Sensibilisierung für Selbstorganisation als auch vielfach Methoden und Instrumente fehlen, Selbstorganisation zu initiieren und zu „organisieren“ sowie die Entwicklung der für die Selbstorganisation wichtigen Kompetenzen zu unterstützen. Dies führt dazu, dass Mitarbeitern Kompetenzen zur Selbstorganisation fehlen oder dass vorhandene nicht entdeckt werden können.

„Selbstorganisation“ ist ein Begriff, der schon seit längerer Zeit in der organisationstheoretischen Forschung benutzt wird; es ist eine von vielen Metaphern zur Beschreibung organisationaler Phänomene (Morgan 1986). Gehen wir der Erklärung und Beschreibung des Phänomens Selbstorganisation in der organisationstheoretischen Forschung nach, so hat Probst (1987) „Selbst-Organisationsprozesse in sozialen Systemen aus ganzheitlicher Sicht“ ausführlich analysiert. Probst (1987, S. 71) beschreibt humane, soziale Systeme als Systeme vieler Wirklichkeiten, die individuell und sozial konstruiert sind. Sie verändern sich mit den Erwartungen, Wahrnehmungen, Auffassungen und Wertstrukturen.

Ein wichtiger Aspekt der systemtheoretischen Implikationen des Phänomens Selbstorganisation ist, dass dadurch die Möglichkeit eröffnet wird, Probleme in Unternehmen umzuinterpretieren und dadurch andere als die traditionellen Lösungsmöglichkeiten in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu rücken. Gerade die Funktion eines „neuen“ Bezugsrahmens und damit die Erweiterung der Interpretation von bestehenden Problemen sowie deren Lösungsmöglichkeiten und damit

die Hinterfragung verschiedener Annahmen über das Wesen von Organisationen, deren spezifischen Problemdefinitionen von Phänomenen wie Organisationsentwicklung, Mitarbeiterführung, Machtbeziehungen etc. macht diesen Begriff so interessant.

Das oben Gesagte bedeutet auch, dass Selbstorganisation als konzeptueller Denkrahmen nicht erlaubt, einige wenige konkrete, kausale Regeln zur „Organisation von Selbstorganisation“ abzuleiten, da Selbstorganisation nicht von oben angeordnet werden kann, sondern wachsen muss. In diesem Zusammenhang beinhaltet der Begriff „Wachsen“ die Ausführung von kompetenten Handlungen, die in ihrer Qualität so ausgeprägt sind, dass sie selbstorganisatorisch sind und die Rahmenbedingungen in Richtung Selbstorganisation verändern.

Die praxisnahe Diskussion über Selbstorganisation ist von einer „Begriffsunreinheit“ geprägt. So wird häufig von einem System gesprochen, das man planen möchte, aber nicht planen kann. Das Problem liegt u. a. darin, ob Selbstorganisation als eine Begrifflichkeit aufgefasst wird, die ein Resultat oder Aspekte eines Entwicklungsprozesses beschreibt. Die vorliegende Arbeit betont die evolutionären Aspekte anhand der Frage, wie sich Selbstorganisation auf operativer Ebene in der Arbeit von Gruppen in einem Industriebetrieb gestaltet.

Es geht nicht um Selbstorganisation statt Fremdorganisation, sondern um die *Beteiligung an Reorganisationsprozessen* und um mehr *Selbstkoordination statt hierarchischer Koordination*.

Diese Art von evolutionstheoretischen Ansätzen der Organisationstheorie (Malik 1993) können mit folgenden Attributen beschrieben werden:

- Soziale Systeme verfügen über die Fähigkeit zur Selbstorganisation und durch die Selbstorganisation entwickeln sich ihre Verhaltensregeln in evolutionärer Weise weiter.
- Evolutorische Regelungen sind besser als rationale Regelungen. In Verhaltensregeln lagert sich Wissen ab, es folgt die selbstständige Anpassung an Umweltbedingungen, d. h. *Selbstorganisation*.
- Verhaltensregeln, auf denen spontane Ordnung beruht, sind als allmählich gewachsene Ergebnisse von Evolutionsprozessen zu verstehen, die aus Interaktion – häufig unbewusst – zwischen Individuen hervorgehen.

Aus oben Genanntem ergibt sich, dass die Fähigkeit zur Selbstorganisation mit evolutorischen Regelungen zusammenhängen kann, d. h. sie kann Ergebnis eines Evolutionsprozesses sein. Unser Ausgangspunkt ist, dass sich in solchen Verhaltensregeln nicht nur Wissen ablagert, sondern dass auch die Interaktion von Kompetenzen (verschiedener Individuen) eine Rolle spielt. Auf individueller Ebene

bedeutet dies, Organisationsmitglieder in die Lage zu versetzen, Probleme selbst zu erkennen, selbst interpersonelle Beziehungen experimentell zu erproben und selbst organisatorische Bedingungen zu schaffen, die ihren Bedürfnissen angemessen sind, und selbst auf die eigenen Kompetenzen und die der Organisation zu vertrauen.

2 Zielsetzung und Tatsachenfeld des Projekts

2.1 Selbstorganisation untersuchen

Das vorgestellte Projekt leistet einen Beitrag zum Verständnis und zur Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation durch die Erforschung tatsächlich vorhandener Lernkulturen und Kompetenzentwicklungswege, um darauf aufbauend aktuelle und künftige Gestaltungsmöglichkeiten auszuloten sowie die Zusammenhänge zwischen Selbstorganisation und Kompetenz modellhaft zu beschreiben.

Als Zielsetzung und erwarteter Erkenntnisgewinn wurde für unser Projekt formuliert:

- verstehen, durch welche Kompetenzstrukturen Selbstorganisationshandeln beeinflusst wird,
- verstehen, welche Einflussfaktoren die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation unterstützen,
- verstehen, wie Selbstorganisationshandeln mit individuellen und gruppenbezogenen Lernprozessen und Kompetenzentwicklung zusammenhängt,
- modellhafte Beschreibung einer eventuellen Metakompetenz „Selbstorganisation“,
- diese Kompetenz beschreibbar machen,
- Hinweise für die Entwicklung von Selbstorganisationskompetenz geben.

Um diesen Zielsetzungen gerecht zu werden, wurden exemplarische Tatsachenfelder ausgewählt, in denen einerseits die Notwendigkeit zur Entwicklung von Fähigkeiten zur Selbstorganisation von den Unternehmen gesehen wurde und zweitens Selbstorganisationshandeln von Außenstehenden gut beobachtbar war. Die Notwendigkeit zur Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation wurde von den Unternehmen nicht unbedingt so ausgedrückt, wie wir das oben beschrieben haben, sondern eher so, wie wir das einleitend als eine Art von Reaktion auf Veränderlichkeit beschrieben haben. Das Unternehmen, in dem die Studie 2 (s. u.) durchgeführt wurde, hat dies in seinen Ausführungen über die strategische Bedeutung seiner Angestellten (im Rahmen eines Balanced-Scorecard-Ansatzes) wie folgt ausgedrückt: „attract, develop, retain creative, competent, motivated employees willing to take responsibility who align with corporate values and strategic objectives“. Diese Beschreibung deutet darauf hin, dass das Unternehmen ein aktives Umgehen der Angestellten mit gegebenen Rahmenbedingungen (Werten und strategischen Zielen) als Teil deren Handlungen (eventuell sogar in Richtung Veränderungshandlungen) erwartet.

Schon die erste Studie „Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation“ im Tatsachenfeld „Zulieferbeziehung“ (North/Friedrich 2002) gab deutliche Hinweise darauf, dass Selbstorganisation ein Zusammenspiel zwischen Individuen voraussetzt. Arbeit ist per Definition eine kommunikative Handlung. Das was eine einzelne Person tut, steht auch immer in irgendeiner Beziehung zu anderen Personen. Arbeit beinhaltet immer einen sozialen Zusammenhang. Aus diesem Zusammenhang/Kontext heraus werden Kompetenzen eingebracht und entwickelt, mit denen dann Probleme/Aufgaben definiert und u. a. durch Selbstorganisation gelöst werden sollen und können.

Daraus wurde gefolgert, dass die Art und Weise, wie sich das Zusammenspiel gestaltet, darauf auswirkt wie sich Selbstorganisation, Selbstorganisationskompetenz, Selbstorganisationsdisposition und Selbstorganisationshandeln manifestieren. Bei einer solchen Betrachtungsweise ist eine eventuelle Metakompetenz „Selbstorganisation“ sowohl Resultat als auch Bedingung des Zusammenwirkens von Individuen. Es lag daher nahe, sich von den Theorien und Modellen zum Lernen in Gruppen inspirieren zu lassen und Gruppenarbeit als empirisches Untersuchungsfeld zu wählen. Dies wurde auch dadurch unterstützt, dass schwedische Versuche mit Gruppenarbeit noch immer großes Interesse in der europäischen Forschergemeinschaft wecken.

Die vorliegende Untersuchung baut auf drei empirischen Studien (Übersicht 1) auf, die nacheinander durchgeführt wurden:

Studie 1:

- Fragebogenerhebung zum Thema „Selbstorganisation bei Gruppenarbeit“, um theoretische Zusammenhänge für die Entwicklung von Metaroutinen zur Selbstorganisation zu erforschen und um dadurch entsprechende „theoretische Bausteine“ für ein Modell zu entdecken
- Arbeitsanalysen mit REBA (Richter 2000)
- Kompetenzanalysen mit ICA (Lantz/Friedrich 2003)

Studie 2:

- Aktionsforschung „Entwicklung von Gruppenarbeit durch Selbstorganisation“; explorierende Studie, um die Fähigkeit zur Selbstorganisation in Gruppenarbeit zu entwickeln
- Durchführung von Reflektions-Seminaren mit Hilfe des Critical Event Forums (North/Friedrich 2002)

Studie 3:

- Fragebogenerhebung, um das entwickelte Modell „Selbstorganisation als Metaroutine“ empirisch zu überprüfen

Diese empirischen Studien wurden während des gesamten Projektverlaufs mit Reflektionen zur Modellentwicklung begleitet. Dies geschah in Form von Workshops mit Vertretern des Projektteams. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass die zentralen Theoriefelder dieser Studie wie Kompetenzforschung, Wissensmanagement und Gruppenarbeit immer vertreten waren, die empirischen Ergebnisse aus diesen Perspektiven analysierten und dadurch zur Beschreibung von Selbstorganisation beitragen konnten.

Das Untersuchungsdesign, bestehend aus einer Kombination von Fragebogenuntersuchungen, Arbeits- und Kompetenzanalysen als auch Aktionsforschung, wurde mit der Zielsetzung gewählt, die angestrebten theoretischen Überlegungen zur „Qualität“ der Selbstorganisation durch empirische Daten zu verfeinern, zu untermauern bzw. in Frage zu stellen. Es sollte also dazu dienen, Selbstorganisation in seiner Begrifflichkeit im Rahmen des Theoriengebildes der bestehenden Kompetenz- und Wissensmanagementforschung besser verorten und verfeinern zu können.

Um eventuell vorhandene unterschiedliche Ausprägungen von Selbstorganisation erfassen zu können, wurde ein Forschungsdesign gewählt, in dem

- durch die Auswahl der teilnehmenden Unternehmen und der ausgeführten Arbeit kontrollierte und reproduzierbare Rahmenbedingungen vorhanden waren (Studien 1-3),
- Aufgaben und Kontexte kreiert wurden, um unterschiedliche Formen des Selbstorganisationshandelns beobachtbar zu machen (Studie 2),
- eine zeitliche Entwicklung der Kompetenzstrukturen abgebildet werden kann (Studien 1-3),
- individuelle Kompetenzstrukturen und die Interaktion verschiedener Personen mit ihren Auswirkungen auf die Selbstorganisationskompetenz analysiert werden können.

Übersicht 1

Durchgeführte Studien für die Entwicklung des theoretischen Modells „Selbstorganisation als Metaroutine“

	Projekt 1 (Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation)	Projekt 2 (Selbstorganisation als Metakompetenz)			
		Modellentwicklung	Studie 1	Studie 2	Studie 3
Gemeinsame Untersuchungsfaktoren	Aktionsforschung „Zusammenspiel in Zuliefererbeziehungen“	zur Vorbereitung der Studie 1 bis 3	Erhebungen zum Zusammenspiel bei Gruppenarbeit ohne besonderen Fokus auf Selbstorganisation	Aktionsforschung: „Gruppenentwicklung durch Selbstorganisation“	Fragebogenerhebungen zur empirischen Überprüfung des Modells „Selbstorganisation als Metaroutine“
1. Gegebene Arbeit					
2. Reflektion über Arbeit, Rahmenbedingungen (und Effekte)			REBA		
2.1 Was tun wir und was wollen wir tun?				Mit Hilfe von Reflektionsseminaren und „CEF“	
2.2 Wie tun wir es zusammen und wie wollen wir es tun? (Klima gewohnheitsmäßige Routinen)					
2.3 Welche Ressourcen unterstützen unser Zusammenspiel und welche Ressource benötigen wir?	Mit Hilfe des Critical Event Forums (CEF)		„ICA“ Kompetenzanalyse		
2.4 Unter welchen Voraussetzungen führen wir Arbeit aus? Welche Voraussetzungen benötigen wir?					
2.5 Gegebene organisatorische Arbeitsverteilung und welche möchten wir?					
3. Entwicklung des Vertrauens in die Kompetenz der Gruppe (kollektive Selbstwirksamkeitswahrnehmung)	↓	↓	↓	↓	↓
4. Selbstorganisationshandeln					
5. Veränderungsorientierte Aktivitäten				↓	
	Explorierende Studie zum Zusammenhang „Kompetenzen und Selbstorganisation“	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Fähigkeit der Selbstorganisation und den „Bausteinen des Modells“	Überprüfung der Operationalisierung theoretischer Begriffe anhand empirischer Untersuchungen	Prozessperspektive für die Entwicklung des Modells „Selbstorganisation als Metaroutine“	Empirische Überprüfung des vorgeschlagenen Modells zur Beschreibung der Fähigkeit der Selbstorganisation, und den „Bausteinen des Modells“

2.2 Die Untersuchungsfelder: Unternehmen und Vorgehensweise

In vorliegendem Projekt wurde eine iterative Vorgehensweise gewählt, die dazu diente, die auf der Basis von theoretischen Überlegungen entwickelten Bausteine zum Verstehen von Selbstorganisation als Metaroutine für die empirische Forschung zu operationalisieren (Studie 1), durch qualitative Studien zu verfeinern (Studie 2) und um letztendlich ein erstes Modell von „Selbstorganisation als Metaroutine“ empirisch zu überprüfen (Studie 3).

- Studie 1: Fragebogenerhebung und Kompetenzanalyse mit 40 Produktionsgruppen (September bis Oktober 2003).
- Studie 2: Aktionsforschung mit vier Produktionsgruppen (November 2003 bis September 2004)
- Studie 3: Fragebogenerhebung mit 29 Produktionsgruppen (November 2004)

Ausgangspunkt der Studie ist ein theoretisches Gerüst, das sozusagen die Resultate unserer früheren Studie als auch der Forschungsergebnisse anderer Forscher integriert hat. Zielsetzung dieses Projekts war, dieses Gerüst untersuchbar zu machen und zu verfeinern.

Studie 1: Fragebogenerhebung und Kompetenzanalyse in 40 Produktionsgruppen (September bis Oktober 2003)

Diese quantitative Studie von Gruppenarbeit umfasste 40 Gruppen mit insgesamt 297 Personen in drei verschiedenen Produktionsanlagen in drei Unternehmen in Mittelschweden. Zwölf Personen (vier Prozent) beantworteten den Fragebogen aus unterschiedlichen Gründen nicht. Die Produktionsstätten wurden so gewählt, dass Produktion (Montagearbeit in metallbearbeitender Industrie), Produktionstechnik, Größe der Gruppen (fünf bis zwölf Personen) und die bei der Erstanstellung vom Unternehmen benutzten Qualifikationskriterien für Gruppenarbeit ähnlich waren.

Die Gruppen wurden so ausgewählt, dass sie bezüglich folgender Variablen nicht so stark voneinander abwichen: Weiterbildungsmöglichkeiten im Unternehmen, Führungsstil für Gruppenarbeit, gruppeninterne Arbeitsorganisation (d. h. Job-Rotation und Gruppenführer), benutzte Qualifikationskriterien bei der Anstellung im Unternehmen (d. h. Industriearbeiter ohne Berufsausbildung), Alter der Gruppe und gewisse demographische Variablen (Alters- und Geschlechterzusammensetzung).

Die Gruppenteilnehmer beantworteten einen Fragebogen, in dem folgende Dimensionen mit Hilfe einer Reihe verschiedener Fragen/Aspekte operationalisiert worden waren: Arbeitsaufgaben, Arbeitsroutinen, soziale Routinen, Zusammenspiel zwischen Individuen, vorhandene Ressourcen, Unterstützung durch die eigene Organisation und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen. Die Reliabilität der gewählten Untersuchungsdimensionen war durchgehend hoch und die Untersuchungsaspekte jeder Dimension konnte mit einem Maß zusammengefasst werden.

Jedes Individuum beschrieb die eigenen Kompetenzen mit Hilfe des erprobten Erhebungsinstruments ICA (Lantz/Friedrich 2003). Die Arbeitsaufgaben sämtlicher Gruppenmitglieder wurden mit Hilfe des Arbeitsanalyseinstruments REBA (Richter 2000) analysiert. Produktivität, Innovationskraft, Effektivität und Qualität der jeweiligen Gruppen wurde von dem Vorgesetzten der Gruppe anhand einer fünfstufigen Beurteilungsskala beurteilt.

Studie 2: Aktionsforschung mit vier Produktionsgruppen (November 2003 bis September 2004)

Diese Aktionsforschungsstudie mit vier Produktionsgruppen wurde in ein- und demselben Unternehmen durchgeführt. Die Gruppen waren auch Teil der Untersuchungspopulation der beiden Fragebogenerhebungen. Für diese Studie wurde ein Produktionsstandort eines multinationalen Unternehmens mit weltweit führender Stellung in der Produktion von u. a. Schienenfahrzeugen ausgewählt. Der Grund dafür war, dass die Interessen der Unternehmensleitung, neue Wege der Gruppenentwicklung zu beschreiten, mit unserem Forschungsinteresse Hand in Hand gingen. Die für diese Studie ausgewählten Gruppen sind in der Montage von elektrischen Komponenten tätig. Sie wurden nach dem Zufallsprinzip aus einer Population von 14 Gruppen ausgewählt, d. h. jeweils eine Gruppe von jeder Produktionslinie.

Nachdem die Unternehmensleitung die Durchführung dieser Studie akzeptiert hatte, wurden die teilnehmenden Gruppen mündlich und schriftlich über die Planung der Studie, die Prinzipien der Auswahl, die ethischen Grundlagen und die Freiwilligkeit der Teilnahme, das benutzte Instrument CEF sowie über die Art der geplanten Rückkopplung der Ergebnisse informiert. Die Studie wurde während der normalen Arbeitszeit wie folgt durchgeführt

- Information und Diskussion über bestehende Probleme und Identifikation neuartiger Probleme,
- Wahl einer Kontaktperson für die Gruppe, um dafür zu sorgen, dass die Gruppe kontinuierlich mit „unseren“ Fragestellungen arbeitet,

- Durchführung von vier Critical Event Foren pro Gruppe (von à zwei Stunden), um über die eigenen Problemlösungsprozesse und Arbeitsroutinen zu reflektieren (Dezember 2003, Januar, April, Juni 2004),
- in der Zeit zwischen den Treffen Probleme in der täglichen Arbeit lösen und die dafür benutzten Strategien anhand bereitgestellter Formulare dokumentieren,
- zwischen den Treffen Rückkopplung und Berichterstattung an Forscher mittels E-Mail und
- Abschluss und Auswertung im September 2004.

Die ausgewählten Gruppen arbeiteten unter Anleitung der beteiligten Forscher nach dem Prinzip der Critical Event Methode (North/Friedrich 2002). Die Anwendung dieser Methode hatte das Ziel, den Gruppen einen Lern-, Diskussions- und Reflektionsraum zu geben, in dem Gruppenmitglieder ihre unterschiedlichen individuellen Kompetenzen nutzen können, um selbst identifizierte Probleme in der Arbeit (instrumenteller bzw. sozialer Natur) zu lösen, auch im Zusammenspiel mit anderen Funktionen und zur Gruppe externen Personen. Diese Methode beinhaltet fünf Bestandteile:

- Beschreibung der Voraussetzungen innerhalb der Gruppe, Identifikation von gewohnheitsmäßigen Routinen, Problemen und Kompetenzen (Punkte 2.1, 2.2 und 2.3 in Übersicht 1)
- Beschreibung und Analyse der äußeren Voraussetzungen und der eigenen Kompetenz und der von anderen, um Probleme zu lösen? (Punkte 2.4 und 2.5 in Übersicht 1)
- Beschreibung des Problemlösungsprozesses: Wie identifiziert die Gruppe, welche Kompetenzen zur Problemlösung erforderlich sind und wie sollen die Kompetenzen genutzt werden, um das Problem zu lösen (Punkte 2.3 und 2.5 in Übersicht 1)
- Beschreibung und Analyse der eigenen Kompetenz nach der Problemlösung, Entwicklung des Vertrauens in die Kompetenz der Gruppe (kollektive Selbstwirksamkeitswahrnehmung bzw. “group efficacy” (nach Bandura 1995)
- Reflektion über den Problemlösungsprozess und die Unterstützung der Entwicklung von Metaroutinen für die weitere Problemlösung

Studie 3: Fragebogenerhebung mit 29 Produktionsgruppen (November 2004)

Diese Studie umfasst 29 Gruppen mit zusammengekommen 181 Personen aus drei verschiedenen Produktionsanlagen in drei Unternehmen (für eine Beschreibung siehe Studie 1). Während dreier separater, zeitlich dicht aufeinanderfolgender Treffen mit den jeweiligen Gruppen in den drei Unternehmen wurde diese Fragebogenerhebung durchgeführt. Elf Personen (sechs Prozent) beantworteten den Fragebogen aus unterschiedlichen Gründen nicht.

Übersicht 2

Stufenweise Entwicklung des theoretischen Referenzrahmens von Studie 1 bis Studie 3 in Relation zum Untersuchungsmodell (siehe Übersicht 7)

Benutzte Begriffe im Untersuchungsmodell	„Voraussetzungen“	„Reflektion“	„Interaktion“	„Effekte“
		Zusammenspiel in der Gruppe		
Untersuchungsmodell (s. Fig. 6.1)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Job Design/Gestalt der Arbeit 2. Zusammenspiel 3. Gruppenzusammensetzung 4. Organisation und Führung 5. Abhängigkeit zwischen Mitgliedern 	Reflektion über <ol style="list-style-type: none"> 1. Voraussetzungen 2. Ziele 3. Aktivitäten 4. Mittel 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interaktion 	Lernen/Selbstorganisation Steigerung der Handlungsvarianz <i>Repertoire an Handlungen</i> Effizienz/ Effektivität Arbeitszufriedenheit
Operationalisierung der theoretischen Begriffe in Studie 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestalt der Arbeit 2. Gruppenzusammensetzung und Ressourcen in der Gruppe 3. organisatorische Unterstützung 4. Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe (Selbstwirksamkeitserwartung) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Das Vorhandensein von/der Umfang an Reflektion 2. Metaroutinen (Quantität) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arbeitsroutinen 2. Soziale Routinen 	
Operationalisierung der theoretischen Begriffe in Studie 2	Kompetenzzusammensetzung (Kompetenzbreite und -tiefe)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reflektionswillen 2. Reflektionsthemen 	Auffassung der Gruppe zu: <ul style="list-style-type: none"> – Arbeitsaufgaben – Zusammenspiel in der Gruppe – vorhandene Ressourcen – von außen gegebene Voraussetzungen – produktionsorganisatorische Arbeitsverteilung 	Fähigkeit der Selbstorganisation
Operationalisierung der theoretischen Begriffe in Studie 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestalt der Arbeit 2. Gruppenzusammensetzung und Ressourcen in der Gruppe 3. Organisatorische Unterstützung 4. Abhängigkeit der Gruppenmitglieder 	Metaroutinen/Reflektion über: <ol style="list-style-type: none"> 1. Was tun wir und was wollen wir tun? 2. Wie tun wir es zusammen und wie wollen wir es tun? 3. Welche Ressourcen unterstützen unser Zusammenspiel und welche Ressourcen benötigen wir? 4. Unter welchen Voraussetzungen führen wir die Arbeit aus und welche benötigen wir? Metaroutinen (Quantität)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arbeitsroutinen 2. Soziale Routinen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selbstorganisationshandeln 2. Veränderungsorientierte Handlungen 3. Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe

Der Fragebogen enthielt ca. 200 Fragen verteilt auf Frageblöcke bezüglich Arbeitsroutinen, soziale Routinen, Reflektions- und Lernprozessen, Vertrauen in die Kompetenz der Gruppe (kollektive Selbstwirksamkeitserfahrung), Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierten Handlungen. Die Fragen zu den Reflektions- und Lernprozessen fokussierten auf Arbeitsroutinen, Ressourcen der Gruppe, soziemotionale Prozesse in der Gruppe als auch auf die äußeren Rahmenbedingungen.

Der Fragebogen der Studie 3 enthielt außer den Dimensionen der Studie 1 eine Vertiefung ausgewählter Dimensionen (Reflektionsbereiche) und auch neue Elemente (Selbstorganisationshandeln, Effekte in Form von veränderungsorientierten Handlungen), die aufbauend auf den Ergebnissen der Studie 2 als wichtig empfunden wurden, um die Entwicklung von Selbstorganisation als Metakompetenz erklären zu können.

Das nach Durchführung der Studie 2 entwickelte theoretische Modell zur Gestalt der Selbstorganisation (siehe Abschnitt 6.1 für eine eingehende Darstellung) beschreibt sowohl Elemente, die die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation beeinflussen können, als auch Prozessaspekte der Entwicklung dieses Phänomens. Streng genommen heißt das, es wäre aus methodologischen Gründen notwendig gewesen, diese zwei Aspekte des Modells zu überprüfen, um Aussagen über dessen Gültigkeit machen zu können. Zum einen wäre zu überprüfen, inwieweit die gewählten theoretischen Bausteine die Entwicklung von Selbstorganisation erklären können, und zum anderen, ob die Entwicklung von Selbstorganisation als Prozess den im Modell beschriebenen Stufen entspricht.

Es zeigte sich, dass dies eine sehr komplexe Vorgehensweise erfordern würde, die im zeitlichen Rahmen des laufenden Projekts nicht durchgeführt werden konnte. Stattdessen wurde eine Vereinfachung des vorläufigen Modells gewählt (siehe Abschnitt 6.4.1), um die erste der beiden Fragestellungen mit Hilfe eines Fragebogens abbilden zu können und empirisch zu untersuchen. Die iterative Entwicklung des theoretischen Referenzrahmens mit der Hinzufügung neuer Begriffe wird in Übersicht 2 in Relation zum gewählten Untersuchungsmodell (Kapitel 6) aufgezeigt. Die benutzten Begriffe sind dann bei der Ergebnisdarstellung der jeweiligen Studie beschrieben.

3 Entwicklung von Kompetenzen zur Selbstorganisation

3.1 Integration, Entwicklung und Transfer von Kompetenzen

Unsere Absicht ist es, Selbstorganisation als einen Begriff zu verstehen, der kompetenztheoretisch gefasst werden kann. Es gibt eine Reihe verschiedener Kompetenzdefinitionen und eine genauso umfassende Ansammlung von Kompetenz-einteilungen (siehe u. a. Erpenbeck/von Rosenstiel 2003). Kompetenz verstehen wir als in Handlungen umgesetzte Fähigkeiten, Fertigkeiten und Wissen in unterschiedlichen Arbeits- und Handlungsfeldern. In unserem Kompetenzverständnis fokussieren wir darauf, was mit Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten geschieht, d. h. wie diese konkret in der Praxis angewandt werden.

Ausgangspunkt der weiteren theoretischen Überlegungen ist der Stand der organisationstheoretischen Forschung zum Thema Selbstorganisation. Das wir uns an die Resultate dieses Forschungszweigs anlehnen wollen, ist damit zu erklären, dass es zwar nicht unsere Aufgabe ist, diese Ergebnisse in Frage zu stellen oder weiterzuentwickeln – dazu sind wir nicht kompetent –, es aber Sinn macht, auf deren Ergebnissen bezüglich Begriffsdefinitionen usw. aufzubauen. Uns geht es darum, den Begriff Selbstorganisation kompetenztheoretisch zu verstehen.

In den vorangegangenen Überlegungen zum Begriff Selbstorganisation wurde deutlich, dass damit die Handhabung des Unbekannten, des plötzlich sich Verändernden, des Veränderlichen, des Veränderbaren usw. gemeint ist. Dabei ist klar, dass die Beschreibung der *Entwicklung von Kompetenzen* (als Resultat) an sich, d. h. die Abgrenzung niedrigerer von höheren Stufen einer Kompetenz, das Thema nicht erschöpfend behandelt, sondern es geht darum, diesen Prozess kompetenztheoretisch zu beschreiben und zu erfassen.

Es treten dabei aber mindestens drei Fragen auf, zu der die bisherige psychologische und kompetenztheoretische Forschung kein akzeptierbares erklärungsfähiges Theoriegebäude liefern konnte:

- Einerseits geht es um die *theoretische* Abgrenzung verschiedener Stufen von Kompetenz innerhalb desselben Kompetenzbereichs,
- andererseits um ein theoretisches Modell, dass den *Übergang von einer Stufe zur nächsten erklären kann*,
- drittens um die Erklärung der *Übertragbarkeit von Kompetenzen zwischen verschiedenen Kontexten*.

Wir glauben, dass die Lösung für einen Ansatz zur Erklärung, Beschreibung und Analyse von Selbstorganisation als Fähigkeit darin liegt, diese drei Überlegungen modelltheoretisch zu integrieren. Dies ist der spekulative Ausgangspunkt unserer weiteren Überlegungen.

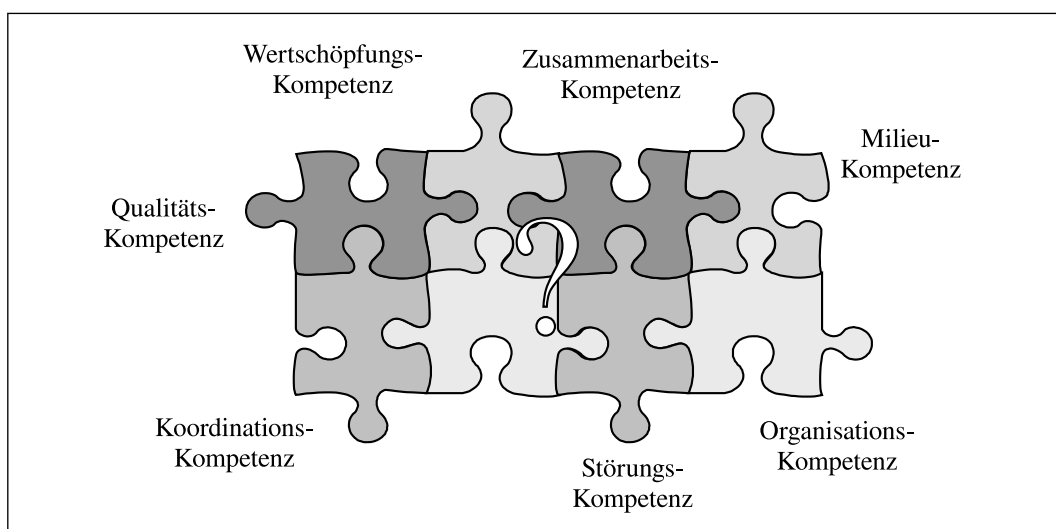
Um uns einer solchen Lösung zu nähern, werden im Folgenden drei Qualitäten der Fähigkeit zur Handhabung von Veränderlichkeit (wie z. B. Veränderungs- und Lernkompetenz, übertragbare Kompetenzen) und der Motivation für Veränderlichkeit diskutiert. Diese Aspekte müssen letztendlich beachtet werden, falls wir zu einem kompetenztheoretischen Konzept für das Konstrukt Selbstorganisation kommen wollen.

(1) Gezielte Interaktion und Kombination von Kompetenzen – eine Facette der Fähigkeit der Selbstorganisation?

Unterschiedliche Kompetenzfelder im beschriebenen Kompetenzmodell (Kapitel 3.2) stehen in einer bestimmten Relation zueinander. Kompetenzen zur Handhabung der organisatorischen Voraussetzungen, Kompetenzen zur Zusammenarbeit und Kommunikation als auch Kompetenzen zur Prioritätensetzung und Koordination haben „Mittelcharakter“, d. h. sie dienen dazu, zur Zielerreichung von Wertschöpfungshandlungen, zur Handhabung von Störungen, zur Qualitätsarbeit und der Handhabung der physischen Umgebungsbedingungen beizutragen, d. h. andere Kompetenzen besser nutzen zu können.

Übersicht 3

Das Zusammenwirken von Kompetenzbestandteilen – ein Aspekt der Fähigkeit zur Selbstorganisation?



Es stellt sich die Frage, wie die verschiedenen Kompetenzbestandteile zusammenwirken. Ist möglicherweise eine Facette der Fähigkeit zur Selbstorganisation, dass sie das Zusammenwirken der verschiedenen Kompetenzbestandteile bewirkt/steuert (siehe Übersicht 3)? Wir stellen uns vor, dass Kompetenz als Phänomen ein sehr komplexes Gebilde ist, in dem die einzelnen analytisch getrennten Kompetenzbestandteile in Wirklichkeit sehr stark interagieren. Diese Überlegung gilt natürlich auf individueller Ebene, aber ist noch interessanter, wenn das Zusammenspiel der Kompetenzen mehr als eine Person betrifft, z. B. Gruppen, organisatorische Einheiten, Netzwerke, Zulieferbeziehungen usw.

(2) *Entwicklung von Kompetenz – ein Aspekt von Selbstorganisation?*

Wir gehen davon aus, dass Kompetenz entwickelbar ist, sei es durch Üben, durch reflektierte Erfahrung und/oder andere Lernprozesse. Das heißt aber auch, dass Stufen/Niveaus von Kompetenz erkennbar/messbar sein müssen. Aber gerade dieser Schritt der Entwicklung, von einem Niveau von Kompetenz zum nächsthöheren Niveau, lässt uns die Frage stellen, ob dies erstens durch Handlungen abgebildet wird und zweitens, welche Kompetenzen dafür erforderlich sind. Ist die Verfolgung dieses Schritts von einer Stufe zur nächsten mit den Begriffen *Lernkompetenz* und *Veränderungskompetenz* abzudecken? Oder ist dies eine Facette der Fähigkeit der Selbstorganisation, und zwar Selbstorganisation des Lernens, des Veränderens, im Sinne von Erpenbeck/Heyse (1999) als eine *Disposition (Anlagen, Fähigkeiten, Bereitschaft)* selbstorganisiert zu handeln.

Lernkompetenz wird auch als *Metakompetenz* bezeichnet, da sie eine von bestimmten *Inhalten unabhängige Fähigkeit* darstellt (Weinert 1999). Lernkompetenz wird als Fähigkeit zum erfolgreichen Lern-Handeln verstanden und konstituiert sich aus der Kompetenz zur Selbststeuerung und Kompetenz zur Kooperation (Mandl/Krause 2001). Nach Weinert (1982) ist Lernen dann selbstgesteuert, wenn der Lernende das Ob, Was, Wann, Wie und Woraufhin er lernt, (...) beeinflussen kann.

Die im Kapitel 3.2 vorgeschlagene Differenzierung von Kompetenzen erfolgt mit der Zielsetzung, Unternehmen und deren Personal-, Organisations- und Wissensentwicklung dahin zu entwickeln, dass sie nicht nur mehr in der Kategorie „Anpassungskompetenzen“ (Anpassung an sich ändernde Gegebenheiten) denken, sondern sich dafür einsetzen, „Veränderungskompetenzen“ zu entwickeln, was den besonderen Ansprüchen moderner Unternehmen entspricht. Mit Veränderung ist dabei gemeint, sich selbst als auch die Dimensionen der einzelnen Handlungsfelder zu entwickeln.

Anpassungskompetenzen zielen darauf, sich an von außen vorgegebene Anforderungen anpassen zu können. Veränderungskompetenzen zielen darauf hin, Indi-

viduen, Gruppen und Unternehmen so zu entwickeln, dass sie aktiv nach neuen Situationen und Bedingungen suchen oder sie schaffen (alleine oder zusammen mit anderen). Diese Veränderungskompetenzen können dem Einzelnen und dem Unternehmen die Möglichkeit und das Handlungspotential geben,

- Veränderungsbedarf (auf individueller, Organisations- und Unternehmens-ebene) zu erkennen und zu analysieren,
- Fähigkeiten und Fertigkeiten als auch Wissen zu entwickeln, um Veränderungen vorzubereiten, zu organisieren und durchzuführen, als ein Bestandteil ihrer „normalen“ Arbeit (und nicht als einmalige Aufgaben),
- Organisationsformen zu entwickeln, die ausreichende Freiheitsgrade für Grenzüberschreitungen, kreatives Denken und qualitative Veränderungen beinhalten.

Das in Kapitel 3.2 beschriebene Kompetenzmodell bildet die einzelnen Kompetenzstufen als Punkte auf einem Kontinuum ab. Die Entwicklung längs dieser Stufen, d. h. der Sprung vom Ausführungsniveau zum Zielorientierungsniveau und der Prozess vom Zielorientierungsniveau zum Veränderungsniveau weckt natürlich unser Interesse, wenn wir über Selbstorganisation reden. Unser Ausgangspunkt ist, dass die Entwicklung vom Zielorientierungsniveau zum Veränderungsniveau Aspekte einer Fähigkeit zur Selbstorganisation beinhalten kann, aber auch, dass erst auf dem Veränderungsniveau Selbstorganisation als Handlung stattfinden könnte (Übersicht 4).

An die Diskussion oben schließt sich die Frage an, ob Selbstorganisation eventuell mit dem theoretischen Konstrukt „Metakompetenz“ beschrieben werden kann. Metakompetenz wird in der Literatur als die Fähigkeit beschrieben, das Vorhandensein, den Nutzen und die Erlernbarkeit von Kompetenzen angemessen beurteilen zu können (Nelson/Narens 1990).

Es ist zu bemerken, dass sich diese Fähigkeit zur Reflektion des eigenen Kompetenzbestands und -erwerbs auf die individuelle Ebene bezieht (Weinert 2001). Es ist zu prüfen, ob das theoretische Konstrukt „Metakompetenz“, wie es oben beschrieben ist, für den Begriff „Selbstorganisation“ für Arbeit in Gruppen übersetzt werden kann. Das Neue ist, dass es sich um eine Selbsteinschätzung von Kompetenzen in Gruppen handelt und dass es um die Einbindung dieser Selbsteinschätzung in einen Prozess der Entwicklung von Selbstorganisation geht (die als Resultat von der organisationstheoretischen Forschung vorgegeben wird).

Die beispielhaften Niveaufinitionen in Übersicht 4 machen deutlich, dass Kompetenzen auf dem höchsten Niveau die Interaktion mit dem organisationalen Kontext erfordern. Doch ist nun die Kompetenz, die es ermöglicht, den organisatorischen Rahmen selbst zu schaffen, Selbstorganisationskompetenz (als Metakompetenz) oder nur eine Facette jeden einzelnen Handlungsfelds?

Übersicht 4

Kompetenzstufen – Beispiele von Kompetenzentwicklung als kontinuierlicher Prozess

Handlungsfelder	Kompetenz auf Ausführungsniveau	Kompetenz auf Zielorientierungsniveau	Kompetenz auf Veränderungsniveau
Wertschöpfungshandlungen	Arbeit wird gemäß Vorgaben ausgeführt, Arbeitsaufgaben werden allgemein beschrieben	Die Ziele sind in konkreter (überprüfbarer) Form bekannt. Die Arbeit wird an konkreten Zielen ausgerichtet. Arbeitsabläufe werden flexibel im Sinne der Zielerreichung variiert. Ein Zusammenhang mit der eigenen Abteilung/ Kollegen wird hergestellt.	Änderungen im Arbeitsumfeld (intern/extern) werden registriert. Ziele werden aufgrund dieser Wahrnehmungen verändert bzw. neu formuliert. Die Realisierung neuer Ziele erfolgt in Kooperation mit den betroffenen und relevanten Personen.
Handhabungsorganisator Voraussetzungen	Die Arbeit wird in der vorgegebenen Arbeitsorganisation ausgeführt. Die Arbeitsorganisation und ihr Zweck wird allgemein beschrieben. Der Einfluss der Arbeitsorganisation auf die Ausführung der Arbeit in den anderen Arbeitsrollen wird allgemein beschrieben. Der arbeitsorganisatorische Zusammenhang mit anderen Arbeitsplätzen wird allgemein beschrieben. Die Aufrechterhaltung und Veränderung der Arbeitsorganisation obliegt anderen Personen.	Die Arbeitsorganisation wird konkret in ihrem Gesamtzusammenhang (Abteilungsstruktur, Zusammenspiel zwischen Abteilungen) beschrieben. Die Arbeitsorganisation wird als Mittel zur Erreichung bestimmter Ziele betrachtet. Der Nutzen der Arbeitsorganisation für die anderen Handlungsfelder wird konkret beschrieben. Die Arbeit wird in der vorgegebenen Arbeitsorganisation ausgeführt. Organisatorische Probleme werden erkannt und an die zuständige Person gemeldet.	Die Arbeitsorganisation wird als beeinflussbar betrachtet. Es werden Verbesserungen der Arbeitsorganisation vorgeschlagen. Die Arbeitsorganisation wird eigeninitiativ, im Zusammenspiel mit den betroffenen und relevanten Akteuren auf neue Ziele ausgerichtet.
Kommunikations- und Zusammenarbeitshandeln	Zusammenarbeit erfolgt entsprechend den Vorgaben. Der Sinn von Zusammenarbeit wird allgemein, ohne Darstellung des konkreten Nutzens für die anderen Handlungsfelder beschrieben.	Der Zweck der Arbeitskontakte ist in konkreter Form bekannt. Die Zusammenarbeit erfolgt zur Erreichung bestimmter Ziele. Der Nutzen der Zusammenarbeit für die Kolleg(inn)en/gesamte Abteilung wird berücksichtigt. Die Wahrnehmung der Arbeitskontakte wird flexibel im Sinn der Zielerreichung variiert.	Die Qualität der Arbeitskontakte wird reflektiert. Die Umfeldbedingungen (intern/extern) der Arbeitskontakte werden reflektiert. Rahmenbedingungen für die Arbeitskontakte werden konkret beschrieben. Rahmendbedingungen für die Arbeitskontakte werden aktiv verändert. Konkrete Handlungsstrategien zur Veränderung der Rahmenbedingungen werden beschrieben.
Handhabung von Qualität	Qualitätssichernde Handlungen werden beschrieben. Qualitätssichernde Tätigkeiten werden gemäss Vorgaben ausgeführt. Qualitätsziele bzw. die verwendeten Systeme sind in allgemeiner Form bekannt.	Qualitätsziele sind in konkreter (überprüfbarer) Form bekannt. Es wird ein Zusammenhang mit den übergeordneten Qualitätszielen hergestellt. Techniken der Qualitätssicherung werden beherrscht und entsprechend den Zielen eingesetzt. Die qualitätsbezogenen Tätigkeiten erfolgen in Abstimmung mit dem gesamten Prozess der Qualitätssicherung.	„Qualität“ wird reflektiert und kritisch hinterfragt. Qualitätsziele werden eigeninitiativ verändert bzw. neu formuliert. Die Weiterentwicklung erfolgt in Kooperation mit den betroffenen und relevanten Personen. Beiträge zur Einführung neuer Techniken der Qualitätssicherung werden geleistet.

(3) Kompetenz um Kompetenzen zu übertragen – eine besondere Qualität der Selbstorganisation

In vielen Arbeiten zu Kompetenzfragen wird deren Kontext- und Erfahrungsgebundenheit betont, d. h. es wird mehr oder weniger davon ausgegangen, dass bestimmte Kompetenzen kaum oder nur unter großen Schwierigkeiten in anderen Zusammenhängen genutzt werden können. Der hier vertretene Ausgangspunkt ist, dass auch wenn Kompetenzzulernen situativ ist, eine Loslösung des Wissens und von Kompetenzen (Dekontextualisierung), die dann wiederum die Wissens- und Kompetenzanwendung in anderen Zusammenhängen (z. B. anderen Arbeitsplätzen, anderen Situationen) ermöglicht, denkbar sein sollte. Dieser Prozess ist nicht selbstverständlich, sondern muss gezielt gewollt und unterstützt werden. Diese Dekontextualisierungsleistung bzw. -handlung kann unserem Verständnis nach gerade ein Zeichen für die Fähigkeit zur Selbstorganisation sein.

Nach Bergmann u. a. (2000, S. 21) ist Kompetenz auf hoher Niveaustufe (Expertise) „die Motivation und Befähigung einer Person zur selbstständigen Weiterentwicklung von Wissen und Können auf einem Gebiet“. Nach Hacker (1998, S. 389) sind Experten „als Personen (...) dadurch charakterisiert, dass sie eine Aufgaben- bzw. Problemlösung auch bei neuartigen Aufgaben beherrschen.“

Zusammenfassend können wir feststellen, dass bei der Definition von hohen Kompetenzstufen auf die Befähigung verwiesen wird, Wissen für neue Aufgaben umzukonstruieren, passfähig zu machen oder neues Wissen zu generieren, also auf die Befähigung zum Transfer oder zur Übertragbarkeit.

Wenn die Fähigkeit zur Selbstorganisation darin besteht, Kompetenzen, Wissen und Erfahrungen auf andere/neue Zusammenhängen (Kontexte) zu übertragen bzw. dafür weiterzuentwickeln, dann sollten folgende Fragen überprüft werden:

- Wenn Selbstorganisation eine Übertragungsleistung ist, wie gestalten sich die entsprechenden Handlungen?
- Sind Übertragungsleistungen von Kompetenzen auf niedrigerem Niveau („Nichtexperten“) auch möglich (und damit Selbstorganisationshandeln) oder sind diese Kompetenzen per Definition nicht übertragbar?
- Was wiederum charakterisiert Kompetenzen auf niedrigerem Niveau, die diese Übertragungsleistung nicht ermöglichen?
- Wie lassen sich Niveaus von Kompetenzen theoretisch so abgrenzen, dass man diese individuelle (bzw. gruppeneigene) Befähigung für diese Übertragungshandlung als eigenständigen Kompetenzbestandteil beschreiben kann?

Unser Verständnis von Selbstorganisation geht weiter, als damit nur die Fähigkeit zu bezeichnen, „dass sich das Individuum selbst Ziele setzt, Pläne und Strategien

zu ihrer Verwirklichung erprobt und aus dabei entstehenden Erfahrungen lernt“ (Bergmann 1999, S. 32). Es ist gerade die Übertragungsleistung, die durch die Fähigkeit zur Selbstorganisation ermöglicht wird.

Motivation – eine Voraussetzung für die Fähigkeit der Selbstorganisation?

Ein wichtiger Aspekt von Selbstorganisationsprozessen ist die Motivation (Erpenbeck 1997), die sich ausdrückt in einer *Offenheit* für neue Aufgaben und Bedingungen, in einem Sich-zuständig-Fühlen für neue Aufgaben bzw. einer Sensitivität für neue Probleme und dem Aufspüren eigener Schwachstellen (Bergmann u. a. 2001, S. 22 ff.). Nach unserem Verständnis kann eine Person Kompetenz besitzen, ohne dass sie dazu bereit ist, d. h. genug motiviert ist, diese Kompetenz zu nutzen (d. h. die Disposition wird nicht manifest).

Wir gehen davon aus, dass die Handlungsfähigkeit einer Person (Kompetenz) einerseits von deren eigener Handlungsbereitschaft und andererseits von der Einbindung in einen institutionellen oder organisationalen Kontext abhängt. Persönliche Eigenschaften – auch personale Eigenschaften genannt – fließen bei der Genese von Kompetenzen ein, d. h. sie beeinflussen den Kompetenzentwicklungsprozess (Frei/Duell/Baitsch 1984). Diese Überlegung unterstützt unsere Entscheidung, diesen Bereich nicht als separates Kompetenzfeld einzuführen. Wir gehen davon aus, dass die Entwicklung der Handlungsbereitschaft und die Entwicklung von Kompetenz, aus einer individuellen Perspektive gesehen, unterschiedlichen Entwicklungspfaden folgen (Friedrich/Lantz/Andersson 2001).

3.2 Kompetenzmodell zur Untersuchung von Selbstorganisation in Arbeitstätigkeiten

In der einschlägigen Forschungsliteratur gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, um Kompetenzen zu beschreiben und zu analysieren. Die am weitesten verbreitete Differenzierung ist die in Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz (Sonntag/Schaper 1992, Frieling u. a. 2000).

Dieses Modell wurde für unsere Fragestellungen verfeinert, um entsprechende theoretische Schnittstellen zu den oben gestellten Fragen zur Qualität von Selbstorganisation zu erhalten, d. h. um Kompetenzbereiche zu definieren, die die Veränderlichkeit im Unternehmen und am einzelnen Arbeitsplatz abbilden (siehe für eine umfassende Beschreibung Erpenbeck/von Rosenstiel 2003). Das von uns vorgeschlagene Modell geht davon aus, dass Kompetenz außer in der „wertschöpfenden“ Arbeit vor allem dann vorhanden sein muss, wenn es darum geht veränderte (passive Verhaltensweise) bzw. veränderbare (aktive Verhaltensweise)

Bedingungen als auch Arbeitsaufgaben in der Arbeitstätigkeit zu handhaben. Die Tätigkeit einer einzelnen Person ist in einem modernen Unternehmen in eine Reihe von Zusammenarbeitskonstellationen eingebettet, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens. Wahl und Veränderung der Arbeits-, Produktions- und Unternehmensorganisation hat großen Einfluss auf die Stabilität und die Entwicklungsmöglichkeiten am einzelnen Arbeitsplatz. Genauso transportieren Fragen der Qualität und der Arbeitsumgebung Veränderlichkeit in Form von z. B. veränderten Kundenerwartungen bzw. neu zu beachtenden Umweltaspekten.

Handlungs- und Kompetenzfelder

Das hier benutzte Kompetenzmodell geht davon aus, dass moderne Organisationen nur dann erfolgreich sein können, wenn ihre Mitarbeiter in einer Vielzahl unterschiedlicher Handlungs- und Gestaltungsfelder Kompetenzen besitzen und entwickeln können (Mansfield/Mitchell 1996). Ausgehend von diesen Überlegungen wurden von Friedrich/Lantz (2002) sieben Kompetenzfelder differenziert:

- *Wertschöpfungs- oder funktionsnahe Kompetenz:* Die Kompetenzen zur Ausführung von Handlungen sind direkt darauf gerichtet, die mit der Funktion des Arbeitsplatzes verbundenen Ziele zu erreichen wie z. B. Montage von Einzelteilen, Führung von Mitarbeitern, Erstellung eines Zuliefervertrags.
- *Kompetenz für die Prioritätensetzung und Koordination von Arbeitsaufgaben:* Handhabung von Situationen mit unterschiedlichen und auch konkurrierenden Arbeitsaktivitäten. Was wird getan (und von welcher Zielsetzung geleitet), um ein Gleichgewicht zwischen verschiedenen Aktivitäten zu schaffen, um zu priorisieren und trotzdem die gewünschten Resultate sicherzustellen?
- *Kompetenz für die Handhabung von Störungen und Neuigkeiten:* Die Aktivitäten setzen sich mit Abweichungen von einem gedachten Normalverlauf auseinander, mit dem Entdecken/Lösen von akuten und potentiellen Störungen, dem Auftreten von Neuigkeiten usw.
- *Kompetenz für die Handhabung von arbeitsbezogenen Kontakten und Kommunikation:* An den meisten Arbeitsplätzen ist die Kontaktaufnahme mit Kollegen, Kunden, Zulieferern, anderen Abteilungen usw. eine unabdingbare Notwendigkeit, um die konkreten Zielsetzungen in der eigenen Arbeit erreichen zu können. Es interessiert, was der Mitarbeiter im Rahmen dieser Kontakte tut, um seine Ziele zu erreichen.
- *Kompetenz für die Handhabung organisatorischer Voraussetzungen:* Diese Aktivitäten sind darauf gerichtet, die gegebenen organisatorischen Verhältnisse (z. B. Arbeits- und Produktionsorganisation) für die Aufgabenerfüllung in den anderen Arbeitsfeldern zu nutzen bzw. zu verändern.

- *Kompetenz für die Ausführung von Qualitätsarbeit*: Diese Handlungen sind darauf gerichtet, Qualitätsziele umzusetzen bzw. weiterzuentwickeln/ zu verändern.
- *Kompetenz für die Handhabung der physischen Umgebung des Arbeitsplatzes*: Diese Handlungen sind auf die aktive Auseinandersetzung des Mitarbeiters mit den physischen Voraussetzungen des Arbeitsplatzes gerichtet und umfassen den Umgang mit speziellen Materialien, die Handhabung gefährlicher Materialien, die Entsorgung von Material, die Berücksichtigung von Arbeitssicherheits- und Umweltvorschriften usw.

Diese Kompetenzen sind so gewählt, dass sie Bereiche abdecken, die Veränderungen in der Umwelt des eigenen Arbeitsplatzes verursachen können und die dann Handlungen (von Individuen und Organisationen) erfordern.

Die oben beschriebenen Kompetenzfelder sind unterschiedliche Qualitäten einer „Totalität“, die als Kompetenz bezeichnet wird. Analytisch und empirisch können diese Komponenten voneinander separiert werden. Damit ist aber nicht gemeint, dass sie auch immer separat gelernt werden können.

Kompetenzstufen

Die Kompetenzen einer Person werden nicht nur nach Kompetenzfeldern differenziert, sondern auch innerhalb des jeweiligen Felds wird danach unterschieden, ob eine Person mehr oder weniger Kompetenzen besitzt. Dazu wird eine vierstufige Skala mit der Stufung 0(O), 1(A), 2(Z) und 3(V) benutzt, wobei 3 den höchsten Wert angibt. Die Unterscheidung der einzelnen Stufen baut auf handlungstheoretischen Überlegungen zur Komplexität von Handlungen auf (Volpert u. a. 1983). Die Absicht bei dieser Vorgehensweise ist, die populäre Vorstellung, dass man entweder Kompetenzen besitzen kann oder auch keine, durch eine Perspektive zu ersetzen, die es erlaubt, dass man mehr oder weniger Kompetenzen besitzen kann. Damit ist ein anderer theoretischer Ausgangspunkt verknüpft und zwar, dass es immer möglich ist, bestehende Kompetenzen weiter zu entwickeln und zu lernen. Mehr oder weniger bezieht sich dies nicht darauf, in wie vielen Feldern der Einzelne Kompetenzen besitzt, sondern auf eine qualitative Analyse der Kompetenz im jeweiligen Handlungsfeld.

Die einzelnen Skalenstufen (0-3) bauen aufeinander auf, d. h. das beurteilte Merkmal (Kompetenz in einem Handlungsfeld) ist stetig und die gewählte Skala bildet ein Kontinuum ab. Dies bedeutet, dass eine Bewertung auf einem höheren Niveau automatisch voraussetzt, dass die Kriterien für die darunter liegenden Niveaus erfüllt werden.

- *Nicht vorhanden (O)*: Es sind keine Kompetenzen feststellbar, da aus unterschiedlichen Gründen keine entsprechenden Handlungen ausgeführt werden.

- *Kompetenzen auf Ausführungsniveau (A)*: Die Handlungen in einem Tätigkeitsfeld werden in einer Weise beschrieben, dass daraus zu schließen ist, dass die jeweilige Person nur Kompetenzen zur bloßen Ausführung konkreter Arbeitsanweisungen, (innerhalb des eigenen Arbeitsgebiets) entwickelt hat, ohne dass sie diese Handlungen zu den Zielen für die Arbeit in Beziehung setzt.
- *Kompetenzen auf Zielorientierungsniveau (Z)*: Die Handlungen in einem Tätigkeitsfeld werden in einer Weise beschrieben, dass daraus zu schließen ist, dass der Einzelne Kompetenz entwickelt hat, die sich dadurch auszeichnet, dass beim eigenen Handeln (im Rahmen des Zusammenspiels des eigenen Arbeitsbereichs mit anderen Arbeitsbereichen) angestrebte Ziele/ Resultate aktiv berücksichtigt werden.
- *Kompetenzen auf Veränderungsniveau (V)*: Die Tätigkeiten in einem Tätigkeitsfeld werden in der Weise beschrieben, dass daraus zu schließen ist, dass die jeweilige Person Kompetenz zur Veränderung der entsprechenden Ziele oder Arbeitsweisen (im Zusammenspiel mit anderen Funktionsträgern des eigenen oder anderer Arbeitsbereiche) entwickelt hat.

Mit Hilfe dieser vierstufigen Skala wird beurteilt, inwieweit und auf welcher „Entwicklungsstufe“ der Mitarbeiter die eigene Arbeit zu Zielen in Beziehung setzt. Auf dem höchsten Niveau trägt man aktiv zur Veränderung der Arbeit im jeweiligen Kompetenzfeld bei. Es ist offensichtlich, dass diese Stufung mit der im Wissensmanagement oft benutzten Einteilung in „know what“, „know how“ und „know why“ Gemeinsamkeiten hat.

4 Die Bedeutung der Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation

Die Nutzung, Entwicklung, das Zusammenspiel von Kompetenzen ist in einen Kontext eingebunden. Deshalb gehen wir davon aus, dass es eine Reihe von Einflussfaktoren gibt, die dessen Wirkung ermöglichen bzw. begrenzen: Diese kontextuellen Faktoren sollten beachtet werden

Jeder Wechsel in der Arbeitsumgebung, den Arbeitsbeziehungen, den organisatorischen Voraussetzungen usw. im Tätigkeitsumfeld einer Person kann durch zwei Verhaltensweisen beschrieben werden:

- als eine passive Verhaltensweise, die durch die Veränderung ausgelöst wird, oder
- als aktives Handeln, wodurch Veränderung initiiert wird.

Aus psychologischer Sicht bedeutet diese Veränderlichkeit, dass sich Arbeitsaufgaben verändern, neue hinzukommen oder vorhandene obsolet werden – und es ist eine (die!?) Plattform für Selbstorganisation.

Aber nicht alle Situationen im Leben erfordern bzw. machen Selbstorganisation möglich. Nach Erpenbeck/Heyse (1999, S. 157) werden in der Regel „Handlungen, deren Ergebnisse aufgrund der Komplexität des Individuums, der Situation oder des Verlaufs (System, Systemumwelt, Systemdynamik) nicht oder nicht vollständig voraussagbar sind selbstorganisiert“. „Selbstorganisation“ ist deshalb notwendig, weil in Unternehmen, forciert durch umfangreiche Restrukturierungsmaßnahmen oder parallel laufende Veränderungsprojekte, immer wieder neuer Aufgaben und Situationen für Mitarbeiter entstehen, für die neue, spezifische Lösungen entwickelt werden müssen (Frieling u. a. 2000, S. 35). Das heißt es müssen Anforderungen vorhanden sein (geplant oder ungeplant), die als Problem, Herausforderung, Möglichkeit usw. aufgefasst werden und die bearbeitet werden sollen. Dabei muss es sich nicht unbedingt nur um die „normale“ Arbeitsaufgabe handeln, d. h. diejenige, die z. B. in der Arbeitsbeschreibung beschrieben ist.

Wir gehen von einem dialektischem Verhältnis aus, d. h. Kompetenz wird durch eigenes Handeln (in Zusammenarbeit/Zusammenspiel mit anderen) entwickelt, sei es physisches oder Denkhandeln, aber Kompetenz ermöglicht auch situationsadäquates Handeln. Das bedeutet aber auch, dass wir die Frage stellen müssen, ob der Einzelne Einfluss über das Ob, Was, Wann, Wie und Woraufhin (vgl. Lernkompetenz) der Handlung nehmen kann oder ob alle Handlungen aufgrund des vorhandenen Zusammenhangs mehr oder weniger gegeben sind.

Die Sichtweise der Wissensökologie geht davon aus, dass Rahmenbedingungen oder Kontexte zu gestalten sind, in denen Wissen sich entwickeln kann und in denen Mitarbeiter motiviert werden, geschäftseinheits- und unternehmensübergreifend Wissen zu erwerben und zu nutzen. Die Wissensökologie betont den Prozesscharakter von Wissen und die Elemente der Selbstorganisation, um in einem sich schnell verändernden Umfeld zu agieren. Organisationen werden als dynamisch lernende Systeme begriffen, die sich durch die Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt und mit sich selbst in einem kontinuierlichen Prozess erneuern (sog. autopoietische Systeme). Sie sind nicht beliebig steuerbar. Versuche, die komplexe Dynamik der selbsterzeugenden Organisation durch rigide Vorschriften und Kontrollen in den Griff zu bekommen, scheitern angesichts der Komplexität und der Geschwindigkeit des Wandels. Der Wissensökologie liegt ein nach außen offenes Unternehmen zu Grunde, das Raum schafft und Anreize bietet für unternehmerische Initiative, aber auch zur Zusammenarbeit. Wissensentwicklung und -nutzung sind nicht immer planbar, sondern ad hoc, zum Teil dem Zufall überlassen und intuitiv (vgl. North 2002).

Wenn Unternehmensführung zunehmend bedeutet, Kontexte zu schaffen, damit Potentiale erkannt und genutzt sowie Probleme einer Lösung zugeführt werden können oder allgemein Verhaltensmöglichkeiten erhalten und vergrößert werden, so stellt sich für praktisches Führungshandeln die Frage, welcher Art diese Kontexte denn sein sollten.

Ausgehend von dem in der Zuliefererstudie (North/Friedrich 2002) entwickelten Analysemodell wurden die Rahmenbedingungen in der Gruppenarbeitsstudie analysiert, um diese als Themen in die Reflektionsseminare und CEF-Treffen einzubringen. Die aufgezeigten Rahmenbedingungen sind gleichzeitig auch als Gestaltungsdimensionen zu verstehen.

Für eine weitergehende Beschreibung wird auf North/Friedrich/Lantz (2005, S. 654 ff.) verwiesen.

5 Theoretische Bausteine für ein Modell der Fähigkeit der Selbstorganisation als Metaroutine

Die Ergebnisse der Analyse von Zuliefererbeziehungen in der Studie „Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation“ (North/Friedrich 2002) haben gezeigt, dass die Dimension des strukturierenden und reflektierenden Zusammenwirkens zwischen verschiedenen Rollen/Positionen/Funktionen in zwei verschiedenen Unternehmen eine wichtige Voraussetzung ist, um

- Probleme zu lösen,
- sich eine eigene organisatorische Umwelt zu schaffen, d. h. einen Platz für sich zu entwickeln, um u. a. über seine Kompetenzen reflektieren und sich deren bewusst werden zu können,
- Vertrauen in andere zu entwickeln.

Die Frage ist, ob diese Beschreibung schon gleichzusetzen ist mit Selbstorganisationshandeln. Wir wissen nur, dass das von uns im Critical-Event-Forum geförderte Zusammenspiel dazu geführt hat, bestimmte Probleme zu lösen. Ob es auch dazu geführt hat, dass sich die Fähigkeit zur Selbstorganisation entwickelt hat, so dass die Teilnehmer die Lösung ähnlicher Probleme in der Zukunft selbst organisieren können, ist noch unklar. Wir wissen nämlich nicht, zu welchem Lernen dieses Zusammenwirken geführt hat: Gibt es irgendwelche Veränderungen in Kompetenzfacetten oder haben sich andere übergreifende Routinen herausgebildet?

Die Schlussfolgerungen, die aus der Analyse der Erhebungen im Tatsachenfeld „Zuliefererbeziehungen“ für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation gezogen wurden (North/Friedrich 2002), sind als Anforderungen in das unten abgebildete Untersuchungsmodell (Übersicht 5) eingegangen:

- Sowohl die individuelle als auch die Gruppenebene bzw. organisatorische Ebene soll als Forum für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation beachtet werden.
- Die Interaktion von Individuen und organisatorischen Rahmenbedingungen sollte beschreibbar sein.
- Rahmenbedingungen, unter denen Selbstorganisationshandeln stattfindet, gefördert oder unterdrückt wird, sollten im Modell abgebildet werden.
- Selbstorganisationshandeln muss tätigkeits- bzw. rollenbezogen beschreibbar sein, da die Fähigkeit der Selbstorganisation sich auf diese Tätigkeit/Rolle auswirken wird, bzw. in dieser Rolle lernbar sein wird.
- Das zu entwickelnde Modell sollte dynamisch sein, d. h. Veränderungen über die Zeit beschreibbar machen.

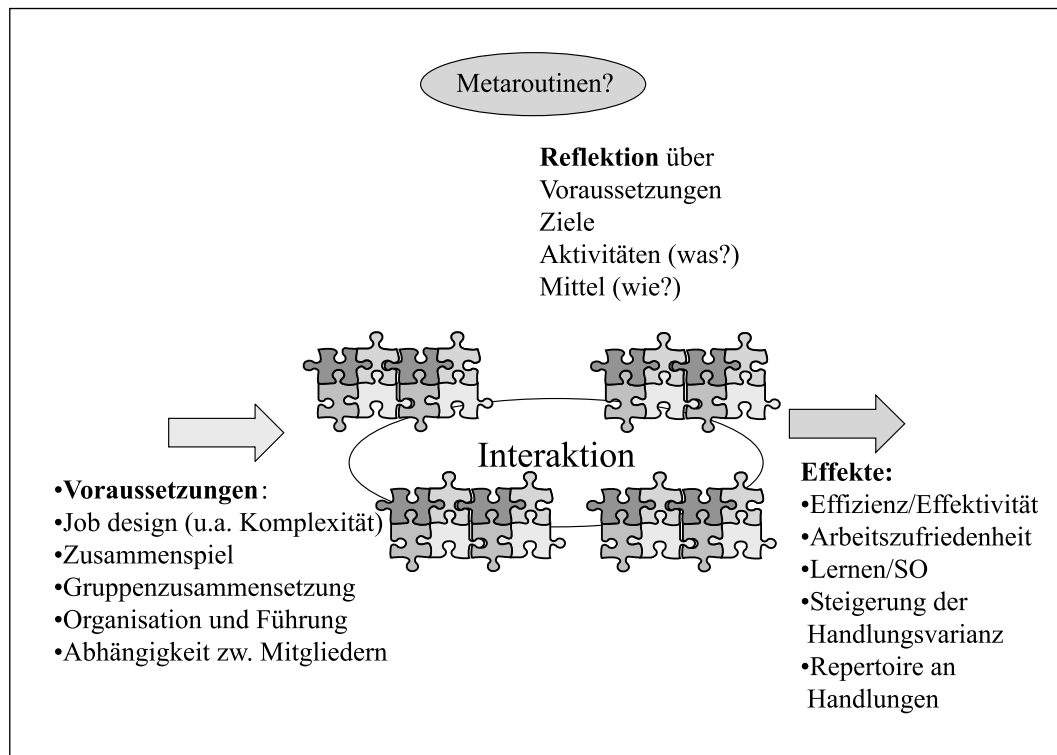
- Das Modell sollte durch entsprechende Instrumente ergänzt werden, die als Lerndesign für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation dienen.

Im folgenden Untersuchungsmodell (Übersicht 5) wird versucht, die in den Annahmen (Kapitel 3) formulierten Aussagen als Untersuchungsdimensionen und auch als vermutete Zusammenhänge abzubilden. Wir gehen davon aus, dass die Interaktion in den Gruppen unter bestimmten (sich unterscheidenden) Voraussetzungen stattfindet. Diese Interaktion führt dann im besten Fall zu unterschiedlichen Effekten, wobei einer davon Selbstorganisationshandeln ist.

Besonders interessieren uns die Reflektionsprozesse, die sich schon in der Zuliefererstudie als ausschlaggebend für bestimmte Effekte gezeigt haben. Unsere Vermutung ist, dass Reflektion und die damit zusammenhängende Entwicklung von eventuellen Metaroutinen wichtige Begriffe für unser theoretisches Verständnis von Selbstorganisation sind. Mit Routinen werden wiederkehrende Verhaltensweisen beschrieben, wie Individuen handeln. Mit Metaroutinen sind die Routinen bzw. Verhaltensmuster gemeint, die Individuen und Gruppen entwickelt haben, um die eigenen Routinen zu beschreiben, zu diskutieren und darüber zu reflektieren.

Übersicht 5

Modell zur Untersuchung von Selbstorganisation als Metaroutinen



Wir lassen uns von den in Studien über Gruppenarbeit gemachten Überlegungen zum Verhältnis zwischen Input, Prozess und Output leiten (McGrath 1964, Guzzo/

Shea 1992, Gersick/Hackman 1990, Tannenbaum/Beard/Salas 1992) Wir gehen aber darüber hinaus, da diese Modelle nicht den iterativen Prozess der Beeinflussung des Inputs durch einen früheren Output berücksichtigen.

Des Weiteren bauen wir auf den Modellen von Campion/Medsker/Higgs (1993) und Campion/Papper/Medsker (1996) auf, da dort die Gestalt der Arbeit (job design), Abhängigkeiten (interdependence), Gruppenzusammensetzung (group composition), Rahmendbedingungen (context) und Prozess (process) als Dimensionen beachtet werden, die Effektivität, Produktivität und Arbeitszufriedenheit beeinflussen können.

Lernen und Reflektion

Lernen beinhaltet immer auch Reflektion über Arbeitshandlungen, über Geschehnisse und Voraussetzungen am Arbeitsplatz, über den Kontext für die zu verrichtenden Arbeitsaufgaben. Lernen und Reflektion bedingen sich gegenseitig. Warum sollte man über Arbeitsaufgaben, deren Ziele und zu nutzende Mittel reflektieren? Natürlich um die Effektivität zu verbessern. Erst dieses übergreifende Ziel gibt dann auch Anlass zum Lernen. Lernen ohne Veränderung der vorhandenen Arbeit bzw. deren Voraussetzungen ist nur ein Anlernen, das nicht ausreicht, um die Fähigkeit zu entwickeln, sein eigenes Lernen organisieren und kontrollieren zu können (Metaroutinen).

Sowohl Forscher als auch Praktiker unterstützen die Auffassung, dass genügend Zeit für Reflektion vorhanden sein muss, um alle Formen von Weiterentwicklung voranzutreiben. Reflektion in Gruppen wird als Voraussetzung für innovatives Handeln betrachtet und es wird sogar empfohlen die „normale“ Arbeit dafür zu unterbrechen (West/Hirst/Shipton 2004). Ausgehend von Seibert (1999) kann man Reflektion in strukturierte und aktionsorientierte („in-action“) Reflektion unterscheiden. Bei der Erstgenannten wird davon ausgegangen, dass das Unternehmen Reflektionsinstrumente zur Verfügung stellt, damit Mitarbeiter ihre Erfahrungen und ihr Lernen durchdenken können. Die zweite Form ist sozusagen in „real time“, d. h. man reflektiert und agiert direkt während der Ausführung der Arbeit und dann auch eher informell.

Es wird angenommen, dass Reflektion zu Lernen führt (Brusling/Strömqvist 1996, Daudelin 1996). In diesem Prozess des Lernens abstrahiert das Individuum neue Meinungsinhalte aus Erfahrungen, re-interpretiert die Wirklichkeit, wird offener für alternative Betrachtungsweisen und hinterfragt eher bisher akzeptierte Annahmen (Smith 1996). Lern- und Reflektionsprozesse werden oft in Niveaus (Driver 2003) bzw. als aufeinanderfolgende Stufen (Daudelin 1996) beschrieben.

Wir wollen im Folgenden verstehen, inwieweit die Fähigkeit zur Selbstorganisation mit dem Vorhandensein von Metaroutinen, d. h. dem Inhalt und der Art und Weise der Reflektion über folgende Aspekte zusammenhängt:

- Arbeitsaufgaben und Arbeitsroutinen
- Zusammenspiel zwischen einzelnen Individuen (innerhalb von Gruppen oder anderen Gruppierungen)
- vorhandene Ressourcen, auch aufgrund der Gruppenzusammensetzung
- Unterstützung durch die eigene Organisation (ob Gruppe oder Gruppierung) in Aspekten der Führung, des Informations- und Wissensflusses, der gemeinsamen Werte
- vorhandene betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen (Arbeitsverteilung zwischen produktionsorganisatorischen Einheiten)

In diesem Kapitel werden die gewählten Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation sowohl anhand der Ergebnisse der Studie 1 als auch der Studie 2 (vgl. Kapitel 2.2) beleuchtet werden.

5.1 Die Bedeutung der Qualität der Arbeit für das Vorhandensein von Metaroutinen

Die Durchführung der ersten explorierenden Studie zur Selbstorganisation (North/Friedrich 2002) ließ die Frage aufkommen, ob die Entwicklung von Selbstorganisation mit der Qualität der auszuführenden Arbeitsaufgaben zusammenhängt, d. h. ob ein bestimmtes Niveau an Arbeitsinhalten erforderlich ist, um die Entwicklung von Selbstorganisation zu ermöglichen.

In der Studie von Baethge zum Thema „Lebenslanges Lernen und Arbeit“ wird eindeutig festgestellt, dass „die Arbeit einen eigenständigen Prägefaktor zur Entfaltung von Lernkompetenzen im Erwachsenenalter darstellt“ (Baethge 2003, S. 98), wobei damit ein neuer Typ von „selbstorganisiertem“ Lernen gemeint ist, der sich aus Antizipationsfähigkeit, Kompetenzentwicklungsaktivität und Selbststeuerungsdisposition zusammensetzt (Baethge 2003, S. 95). Selbststeuerungsdisposition ist die „Fähigkeit und Bereitschaft zur Selbststeuerung und Selbstorganisation von Lernen“ (Baethge 2003, S. 95). Dieselbe Studie zeigt auch, dass Arbeitserfahrungen und insbesondere die gewählte betriebliche Organisation der Arbeit große Bedeutung für die Lernförderlichkeit der Arbeit haben.

Die Arbeitsaufgabe ist die zentrale Analyseeinheit der europäischen Arbeitspsychologie, aber dennoch ist sie bisher bei Gruppenstudien kaum beachtet worden. Wir entwickeln das Modell von Champion/Medsker/Higgs (1996) weiter, indem

wir die Dimension „Arbeitsaufgabe“ hinzufügen. Die Beschreibung und Analyse weiterer Merkmale der Arbeit ausgehend von Pohlandt u. a. (2003) soll uns helfen, den Einfluss der Dimension Arbeit für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation noch besser verstehen zu können.

Anspruchsvolle Tätigkeiten als Voraussetzung für Metaroutinen:

Die Gestaltung der Arbeit hat ausgehend von den Ergebnissen der quantitativen Studien große Bedeutung für das Vorhandensein bzw. die Entwicklung von Metaroutinen, d. h. anspruchsvolle Arbeitstätigkeiten führen eher zur Entwicklung von Metaroutinen als weniger anspruchsvolle Tätigkeiten ($r = .43$ $**p < 0.01$).

Die *Gestalt der Arbeit* (Job Design) wurde als ein komplexer Indikator konstruiert, der sich aus 22 Aspekten (Cronbachs Alfa = .90 [Cronbachs Alfa = Funktion der durchschnittlichen Korrelation zwischen den Items eines Fragekomplexes. Dies ist ein Maß für die interne Konsistenz der einzelnen Fragen einer Untersuchungsdimension]) zusammensetzt, die in die folgenden fünf Beschreibungsdimensionen eingehen:

- Ganzheitlichkeit der Aufgabenstellung
- Anforderungen an Zusammenarbeit
- Lernpotential
- Verantwortung
- kognitive Anforderungen

Mit dem Begriff *Metaroutinen* wird hier das Vorhandensein von *Routinen für Reflexion* beschrieben. Für die benutzten Fragen (Edmondson 1999) wurde ein Indikator konstruiert (Cronbachs Alfa = .88), der folgende Dimensionen beinhaltet:

- reservierte Zeit und Treffen für Reflexion
- Teilnahme relevanter anderer (nicht zur Gruppe gehörender) Personen
- Führung für Reflexion
- Diskussion über die Bedeutung von Metaroutinen
- Diskussion und kritisches Hinterfragen

Die Ergebnisse der *Studie 2* zeigen, dass es große Unterschiede zwischen den Gruppen gab. Und zwar nicht in Bezug auf die „objektive“ Gestalt der Arbeit, sondern bezüglich deren subjektiver Wahrnehmung der Arbeit und dem Ziel der Arbeit. Trotz (von außen betrachtet) relativ gleichartiger Arbeitsaufgaben vertrat die Gruppe H2 die Auffassung, dass es die Notwendigkeit und auch die Möglichkeit gab, die eigene Arbeit und die Arbeitsgestaltung zu problematisieren und darüber zu reflektieren. Die Gruppe D1 dagegen meinte, dass dies nicht nötig war.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen hängen damit zusammen, wie die Gruppen die Arbeit wahrnehmen und definieren und welche Möglichkeiten die bestehenden Rahmenbedingungen bieten. Die Gruppe H2 bearbeitet die kognitiven Anforderungen, die die Arbeit stellt, indem sie über die Ziel-Mittel-Relation der Arbeitsaufgabe reflektiert, die Arbeit in Beziehung zu den Zielen ausführt, Autonomie nutzt, die es zu nutzen gibt, und versteht, dass diese Arbeit das Zusammenwirken in der Gruppe und mit anderen erfordert.

Die Gruppe D1 dagegen führt die Arbeit ohne deutliche Beziehung zum Ziel, nur im Rahmen des Gegebenen aus, ohne dass sie zeigt, dass sie Arbeit als etwas Gestaltbares auffasst. In der Gruppe H2 ist die Arbeit und deren Gestalt ein „Eigentum“ der Gruppe, während in der Gruppe D1 die Arbeit von außen gegeben ist. Dieses von außen Gegebene muss wahrgenommen, verstanden und integriert werden, bevor man darüber reflektieren kann, wie Arbeit sich verändern und entwickeln kann.

Wenn wir hier über Arbeit und Arbeitsaufgaben gesprochen haben, dann ist es nicht selbstverständlich, dass damit nur die Teile der Tätigkeit gemeint sind, die geplant und erwartet werden, sondern es können gerade die Aspekte sein, die man eigentlich nicht erwartet hatte. Zwar gibt es oft eine allgemeine Akzeptanz des beschriebenen Phänomens dieser Arbeit, z. B. als „Problem“, „Veränderlichkeit“ usw. Aber dass damit auch neue Aufgaben entstehen, die eventuell im Zusammenspiel mit anderen Personen, in anderen Teilen der Organisation und auch mit Veränderung von Rahmenbedingungen ausgeführt werden sollen und können, wird oftmals vergessen.

Vielleicht ist es gerade diese Situation der Veränderung von Rahmenbedingungen aufgrund neuer Aufgaben, die für eine effektive Nutzung von Kompetenzen im Zusammenspiel erforderlich ist, die den eigentlichen Kern der Fähigkeit zur Selbstorganisation ausmacht.

5.2 Ein geordnetes Zusammenspiel unterstützt die Entwicklung von Metaroutinen

Die Bezeichnung habituelle Routinen wird verwendet, wenn “eine Gruppe in einer gegebenen Situation wiederholt dieselben funktionellen Handlungsverläufe aufzeigt, ohne explizit nach alternativen Wegen gesucht zu haben“ (Gersick/Hackman 1990, S. 69). Diese gewohnheitsmäßigen Routinen können sich sowohl für die Ausführung der Arbeit (Arbeitsroutinen) entwickeln als auch sozioemotionaler Natur sein. Metaroutinen können auch zu den habituellen Routinen gehören. In der Gruppenforschung wurde als bedeutend hervorgehoben,

dass Gruppen Routinen haben: um Ziele zu verdeutlichen, für den Austausch von Auffassungen zur Qualität, für die Kommunikation mit und den Austausch von Informationen mit relevanten Personen im Produktionsprozess (Campion/Papper/Medsker 1996).

Soziemotionale Prozesse, oft als Unterstützungsfunktion beschrieben (instrumentelle, realistische, emotionale und informative Unterstützung), haben eine zentrale Bedeutung für Gruppenperformance und Arbeitszufriedenheit. Für die Reflektionsbereitschaft in Gruppen ist jedoch die Dimension „Gruppengeborgenheit“ („team safety“) noch wichtiger. Sie ist weitgehender als persönliches Vertrauen und trägt dazu bei, Risikobereitschaft und den Willen zum Erproben des Unbekannten zu erhöhen (Edmondson 1999).

Der schon in der explorierenden Studie diskutierte Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Arbeitsroutinen und der soziemotionalen Situation in Gruppen und der Entwicklung von Metaroutinen wird in den quantitativen Studien empirisch bestätigt. Arbeitsroutinen ($r = .52^{**}$ $p < 0.01$) und die soziemotionale Situation der Gruppe ($r = .49^{**}$ $p < 0.01$) korrelieren mit dem Vorhandensein von Metaroutinen.

Für den Begriff *Arbeitsroutinen* wurde ein Indikator konstruiert (Cronbachs Alfa = .75), der folgende Dimensionen beinhaltet:

- Klarheit über die Arbeitstätigkeit
- deutliche Ziele
- Verdeutlichung von Zielen
- Klarheit über die Qualität der zu verrichtenden Arbeitstätigkeit
- Routine für gruppeninterne Arbeitsteilung
- Kommunikation mit allen Personen, die mit demselben Produkt arbeiten
- Funktion der Zusammenarbeit, um die Aufgabe ausführen zu können
- ausreichende Information von anderen Betroffenen, um die Aufgabe ausführen zu können

Die *soziemotionale Situation* wurde ausgehend von Edmondsons Forschung (1999) als ein Indikator (Cronbachs Alfa = .76) anhand folgender Dimensionen gemessen:

- soziale Unterstützung innerhalb der Gruppe
- psychologische Sicherheit (Gruppengeborgenheit)
- Kommunikation während der Ausführung der Arbeit

Je reicher oder weiter entwickelt die Arbeitsroutinen in Gruppen sind und je weiter entwickelt die soziemotionale Situation in den Gruppen ist, desto fortgeschrittener

ist die Entwicklung von Metaroutinen. Sind in einer Gruppe Arbeitsroutinen vorhanden, die die Ausführung der vorhandenen Arbeitstätigkeiten unterstützen, dann ist es auch eher möglich, dass diese Gruppen reflektive Metaroutinen entwickeln. Dies ist natürlich nur dann wahr, falls das sozietionale Klima dies zulässt.

Ein weiteres interessantes Ergebnis der quantitativen Studie zeigt, dass es keinen statistischen Zusammenhang zwischen den Indikatoren „Gestaltung der Arbeit“, „Arbeitsroutinen“ und der „sozietionalen Situation“ gibt. Das heißt, auch bei weniger interessanter Arbeit kann es in Gruppen Arbeitsroutinen und ein Minimum von sozietionalem Verständnis geben, um die Arbeitsaufgaben entsprechend den gegebenen Zielen ausführen zu können. Dagegen reichen weniger anspruchsvolle Arbeitsinhalte nicht aus, um die Entwicklung von Metaroutinen zu initiieren. Es gibt wahrscheinlich nicht genug Themen, über die man reflektieren kann.

Die *Studie 2* zeigt, dass die Gruppe H2 (in einem embryonalen Zustand der Selbstorganisation, wie wir später sehen werden) sich von den anderen Gruppen, die kaum Zeichen von Selbstorganisation aufzeigen, sehr stark bezüglich Arbeitsroutinen und sozietionalen Routinen unterscheidet. In der Gruppe D1 z. B. ist der soziale Austausch zwischen den Gruppenmitgliedern minimal und es ist keine Dynamik innerhalb der Gruppe festzustellen. In der Gruppe H2 dagegen gibt es diese Dynamik aber auch Spannungen: Dies wird von der Gruppe jedoch bewusst und offen gehandhabt.

In der Gruppe H2 ist die Gruppengeborgenheit ausreichend, um Schwierigkeiten zu begegnen und Konflikten nicht auszuweichen. Alle anderen Gruppen loben ihr Gruppenklima, aber man will den „guten Geist“ in der Gruppe nicht dadurch riskieren, indem man z. B. über unterschiedliche Auffassungen diskutiert.

Ein gutes sozietionales Klima ist wichtig für die Reflektion, aber es ist an sich kein Motiv für Reflektion. Eine Gruppendynamik mit Spannungen bezüglich unterschiedlicher Auffassungen (z. B. über die Arbeit) stimuliert zur Reflektion, vorausgesetzt man fühlt sich in der Gruppe ausreichend sicher und geborgen.

Alle Gruppen haben ihre Arbeitsroutinen, aber sie unterscheiden sich darin, ob es kollektive Routinen sind oder ob ein einzelnes Gruppenmitglied Routinen entwickelt hat. Mehr oder weniger effektive Arbeitsroutinen gibt es in allen Arbeitsgruppen, aber sie müssen gemeinsam entwickelt sein und verantwortet werden, falls die Gruppe sich daran wagen soll, diese zu problematisieren und darüber zu reflektieren.

5.3 Gruppenzusammensetzung und Ressourcen in der Gruppe

In unserem Ansatz gehen wir davon aus, dass sowohl die objektiv messbare Kompetenz-Zusammensetzung der Gruppe als auch die gruppeninterne Wahrnehmung der in der Gruppe vorhandenen Kompetenzen als Ressource für die Entwicklung von Metaroutinen als auch die Selbstwirksamkeitserwartung Bedeutung haben sollte. Aufgabenbezogene Attribute (z. B. Ausbildung, Qualifikationen und Kompetenzen) und personenbezogene Variablen (Geschlecht, Alter, Persönlichkeit, ethnische Herkunft usw.) sind die dominierenden Klassifizierungen, um Diversifikation in Gruppen zu beschreiben (West u. a. 2004). Homogenität als auch Heterogenität der Gruppenzusammensetzung wird als sowohl positiv als auch negativ für Effekte wie Gruppenprozesse, Gruppeneffektivität und Resultate (Pelled/Eisenhardt/Xin 1999, Shaw/Bartlett-Power 1997) oder Innovationskraft (West/Hirst/Shipton 2004) angesehen. Auch wenn es hier unterschiedliche Resultate gibt, kann man daraus schließen, dass die Gruppenzusammensetzung Bedeutung hat für die Entwicklung von Metaroutinen.

Die Ergebnisse der quantitativen Studien zeigen, dass es signifikante Zusammenhänge gibt zwischen Gruppenzusammensetzung/Ressourcen in der Gruppe und dem Vorhandensein von Metaroutinen ($r = .27$, $p < 0.01$). Nicht ganz unerwartet wird gezeigt, dass heterogene Gruppenzusammensetzung und das Vorhandensein gruppengemeinsamer Kompetenz(en) sich positiv auf die Reflektion über Rahmenbedingungen auswirkt. Gruppenzusammensetzung und Ressourcen in der Gruppe korrelieren mit Arbeitsroutinen ($r = .45$, $p < 0.01$) und der sozioemotionalen Situation der Gruppe ($r = .40$, $p < 0.01$).

Für den Begriff *Kompetenzzusammensetzung* der Gruppe wurde ein Indikator konstruiert (Cronbachs Alfa = .64), der folgende Dimensionen (vgl. Campion/Papper/Medsker 1996, Edmondson 1999) beinhaltet:

- Verteilung unterschiedlicher Kenntnisse auf die Gruppenmitglieder
- individuelle Biographien und Erfahrungen der Gruppenmitglieder
- Grad der Komplettierung unterschiedlicher Kenntnisse und Erfahrungen in der Gruppe
- Beurteilung des Kompetenzpotentials der Gruppe, um arbeitsrelevante Probleme in der Gruppe zu lösen
- Beurteilung, inwieweit alle Gruppenmitglieder ausreichendes Training und Erfahrungen haben, um die geforderte Arbeit auszuführen
- Stellungnahme dazu, ob es in der Gruppe Mitglieder gibt, die die spezielle(n) Kompetenz(en) für Gruppenarbeit nicht besitzen

Die Gruppen in der *Studie 2* unterscheiden sich vor allem in der Wahrnehmung der Kompetenz(en) der anderen Gruppenmitglieder und der gesamten Gruppe.

Diese Wahrnehmung ist der erste Schritt, die vorhandenen Kompetenzen zu einer kollektiven Ressource zu machen. Diese Erkenntnis ist wichtig für unser Modell, aber auch ein innovativer Beitrag zur Forschung zum Zusammenspiel in Gruppen und in anderen organisatorischen Einheiten. Nach unserer Kenntnis ist bisher die Tatsache, inwieweit Gruppenmitglieder im Detail und nuanciert eigene Kompetenzen und die anderer wahrnehmen, nicht Gegenstand der Forschung gewesen, sondern es wird fast immer von „objektiven“ Variablen wie Berufsausbildung, Berufserfahrung und integrierten Maßen für die Kompetenzzusammensetzung der Gruppen ausgegangen.

Die Kompetenzzusammensetzung der Gruppen anhand dieser Variablen zu diskutieren, ist nicht ausreichend. Aufbauend auf den Ergebnissen der qualitativen Studie können wir behaupten, dass für die Entwicklung und Nutzung kollektiver (Kompetenz-)Ressourcen die Wahrnehmung der Kompetenzen aller Gruppenmitglieder auch deshalb von großer Bedeutung ist, damit sich in der nächsten Stufe Metaroutinen entwickeln können.

5.4 Unterstützung durch die „eigene“ Führung

Für fast alle Tätigkeiten gilt, dass es eine organisatorische Umgebung gibt, die auf die eine oder andere Weise die „gruppeninternen“ Prozesse und deren Entwicklung beeinflusst. Dies gilt unserer Meinung nach im Besonderen bei der Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation.

Zu den Formen dieser Art von Unterstützung rechnen wir z. B. die im Unternehmen vorhandenen Möglichkeiten der Weiterbildung und Kompetenzentwicklung, das Vertrauen der Unternehmensführung in Zusammenarbeit als auch deren Bedeutung und die soziale Unterstützung der Gruppe durch die Führung. Ausgehend von früherer Forschung (Campion/Papper/Medsker 1996, Lantz/Brav 2004, Edmondson 1999) wurde ein zusammenfassendes Maß (Cronbachs Alfa = .92) konstruiert, das aus 16 Items besteht, die folgende Aspekte erfassen:

- Umfang der Möglichkeiten für Kompetenzentwicklung, Ausbildung für die Arbeitstätigkeit und Training für Gruppenarbeit
- Inwieweit glaubt die Unternehmensleitung an den Erfolg von Gruppenarbeit?
- Inwieweit gibt die Unternehmensleitung ausreichende Unterstützung sozialer, instrumenteller, realistischer und informativer Natur?
- Initiiert die Führung Treffen und Diskussionen über die Entwicklung von Gruppenarbeit? Nähe der Führung zu den Gruppen?

Die Ergebnisse der quantitativen Studien zeigen, dass die Art und das Ausmaß an Unterstützung durch die eigene Führung ein wesentlicher theoretischer Baustein für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation, verstanden als Metaroutine, ist ($r = .36$, $p < 0.01$). Die Bedeutung der Unterstützung durch die Führung wird weiterhin durch die positiven Zusammenhänge mit Arbeitsroutinen ($r = .49$, $p < 0.01$) und der sozioemotionalen Situation in der Gruppe ($r = .35$, $p < 0.01$) bestätigt.

In der Studie 2 wird diese Bedeutung der Unterstützung durch die Führung abgebildet, da sich dort zeigt, dass das Nichtvorhandensein dieser Unterstützung die Entwicklung von Metaroutinen und damit der Fähigkeit zur Selbstorganisation erschwert:

Die nächsten Vorgesetzten der Gruppen, die nicht den embryonalen Zustand von Selbstorganisation erreichten, haben in ihrem Zusammenspiel mit der Gruppe ausschließlich auf die Produktion und deren Messzahlen fokussiert. Soziale Unterstützung gab es nur, um direkte Produktionsprobleme zu lösen, damit die Produktion wie gewünscht ablaufen konnte.

Der Vorgesetzte der Gruppe H2 hatte eine eher ambivalente Haltung zu den Möglichkeiten der Gruppe. Einerseits hatte er großes Vertrauen in das Potential von Gruppenarbeit für die Erreichung von veränderungsorientiertem Handeln. Andererseits war die Führungsarbeit doch in der Hauptsache fokussiert auf die Produktion und deren Messzahlen. Einerseits unterstützte er Reflektion und Diskussion in der Gruppe, andererseits kam es bei zeitlichen Engpässen leicht vor, dass er die Gruppe aufforderte, bereits geplante Treffen der Produktionsarbeit zu „opfern“. Die Unternehmensleitung unterstützte zwar Gruppenarbeit, aber deren Verhaltensweise war zweideutig. Man wollte innovative Gruppenarbeit haben, schuf aber keine positiven Rahmenbedingungen, um Reflektion und die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation zu entwickeln.

5.5 Bedeutung des Vertrauens in die Fähigkeiten der Gruppe für die Entwicklung von Metaroutinen

Die Selbsteinschätzung und die Überzeugung der Gruppe von den eigenen (bereichsspezifischen) Handlungskompetenz(en) ist deshalb wichtig, weil sie darauf Einfluss haben wird, welche Ziele sich Gruppen setzen, wie viel Anstrengung sie gemeinsam in ein Projekt investieren und wie viel Widerstand sie leisten, wenn Barrieren auftreten.

Mit Selbstwirksamkeitswahrnehmung (group efficacy) bezeichnen wir den kollektiven Glauben/die kollektive Wahrnehmung der Gruppe, effektiv zu sein und effektiv sein zu können. Dieser Einflussfaktor auf die Gruppenleistung kann so-

wohl positive (Guzzo/Shea 1992) als auch negative (Guzzo/Dickson 1996) Auswirkungen haben.

Für unsere Studie ist weniger interessant, dass mit der Selbstwahrnehmungserwartung der Gruppe Gruppenprozesse beschrieben werden können, als dass diese Größe als eine vermittelnde Variable zwischen Lernen, Kompetenzentwicklung und Gruppeneffekten genutzt werden kann.

Die Erfassung dieses Konstrukts geschieht mittels Abbildung der individuellen Auffassung der Bewältigungskompetenz einer Bezugsgruppe. Ausgehend von Edmondson (1999) wurden folgende Dimensionen erfasst, um den Indikator „kollektive Selbstwirksamkeitserwartung“ zu konstruieren (Cronbachs Alfa = .72):

- Selbstbeurteilung der Möglichkeit der Gruppe, ihr Ziel zu erreichen
- Selbstbeurteilung, inwieweit die Gruppe ihre Arbeitsaufgaben ausführen kann, ohne außergewöhnlich viel Zeit und Energie in Anspruch zu nehmen
- Selbstbeurteilung, inwieweit die Gruppe welches Ziel auch immer erreichen kann

Die quantitativen Untersuchungen zeigen, dass es einen statistisch sichergestellten Zusammenhang zwischen der kollektiven Selbstwirksamkeitserwartung und dem Vorhandensein von Metaroutinen ($r = .31, p < 0.01$) gibt. Der Zusammenhang zwischen Metaroutinen und kollektiver Selbstwirksamkeitserwartung kann darauf hindeuten, dass das Vorhandensein von kollektiver Selbstwirksamkeitserwartung eine Voraussetzung dafür ist, dass eine Gruppe sich an die Entwicklung von Metaroutinen heranwagt.

In der *Studie 2* zeigt nur die Gruppe D1 ein anfängliches Vertrauen in ihre kollektiven Fähigkeiten. Die übrigen Gruppen haben die Voraussetzungen für diese Entwicklung noch nicht untersucht und können deshalb auch noch keine Ergebnisse aufzeigen. Eine Gruppe (C6/C7) hat nach unserer Auffassung ein falsches Bild von den eigenen Fähigkeiten. Dieses idealisierte Bild der eigenen Fähigkeit hindert nach unserer Auffassung die Gruppe daran, die Fähigkeit der Selbstorganisation zu entwickeln. Der Unterschied zur Wirklichkeit ist so groß, dass die Gruppe es nicht wagt, die eigene kollektive Fähigkeit zu testen, um die Selbstwirksamkeitserfahrung zu entwickeln. Es könnte sich ja zeigen, dass die Fähigkeiten wesentlich geringer sind, als selbst eingeschätzt.

Statistisch gesehen bestehen zwischen den gewählten theoretischen Bausteinen starke positive Abhängigkeiten (Übersicht 6). Die Zusammenhänge sind aber nicht so stark, dass wir befürchten müssen, dass die sieben gewählten Dimensionen eigentlich zu einer übergreifenden Dimension gehören.

Übersicht 6

Die benutzten theoretischen Bausteine und deren statistische Abhängigkeiten (N=40)

	Meta-routinen	Arbeits-routinen	soziale Routinen	Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe	Einstellung zur Gruppenarbeit	Kompetenz	Unterstützung durch Führung
REBA Sum	.43**	.12	.29	.00	.09	.00	.06
Metaroutinen	1						
Arbeits-routinen	.52**	1					
soziale Routinen	..49**	.54**	1				
Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe	.31**	.42**	.39**	1			
Einstellung zur Gruppenarbeit	.24**	.35**	.39**	.09	1		
Kompetenz	.28**	.45**	.40**	.17**	.34**	1	
Unterstützung durch Führung	.36**	.49**	.35**	.48**	.17*	.39**	1

* p < 0.05, **p < 0.01

Diese Resultate und die Ergebnisse sämtlicher Studien sind Grundlage für das im Folgenden präsentierte Modell der *Fähigkeit der Selbstorganisation als Metaroutine*.

Diese Resultate wurden u. a. dazu genutzt, um

- die Erhebungsinstrumente zu verfeinern,
- unser Verständnis über die theoretischen Bausteine des präsentierten Modells zu vertiefen und eventuell neue oder veränderte Bausteine hinzuzufügen,
- die Gültigkeit des präsentierten Modells zu überprüfen, und zwar vor allem bezüglich der Zusammenhänge zwischen den theoretischen Bausteinen als auch dem Prozess der Entwicklung der Fähigkeit der Selbstorganisation.

Die Ergebnisse der Studie 2 zeigen eindeutige Unterschiede zwischen den Gruppen. Auf der einen Seite gibt es eine Gruppe (H2), die sich in Richtung einer Fähigkeit der Selbstorganisation entwickelt, während man bei den anderen Gruppen eine solche Entwicklung nicht beobachten kann (Übersicht 7).

6 Modellbildung „Selbstorganisation als Metakompetenz“

Aufbauend auf dem im Kapitel 5 vorgestellten „Modell zur Untersuchung von Selbstorganisation als Metaroutine“ (Übersicht 5) und ersten Erfahrungen aus der Studie 2 wurde die Studie 1 durchgeführt, um zu überprüfen, ob die benutzten theoretischen Begriffe auch so operationalisiert werden können, dass dazu empirisch in Form von Fragebogenuntersuchungen Daten erhoben werden können. Dies wurde dann in der Studie 3 durchgeführt.

Ohne zu umfassende Schlüsse aus diesen Studien zu ziehen, zeigt Übersicht 7, dass es klare Unterschiede gibt zwischen Gruppen, die sich auf dem Weg zur Selbstorganisation befinden und solchen, für die dies nicht zutrifft.

Eine Gruppe, die am Anfang zur Selbstorganisation steht, kann wie folgt gekennzeichnet werden:

- Majorität der Gruppenmitglieder hat Kompetenzen in sechs Handlungsfeldern (wie in Kapitel 4.2. beschrieben)
- homogenes Kompetenzbild mit Schwerpunkt auf Zielerreichungsniveau, vereinzelt auch auf Veränderungsniveau
- gruppengemeinsamer Reflektionswillen
- gruppengemeinsame Themen in Richtung veränderungsorientiertes Handeln
- realistische Einigkeit über Zielorientierung der Arbeit
- Probleme liegen innerhalb der Gruppe bzw. im Zusammenspiel mit dem/ den Vorgesetzten
- reiches soziales Zusammenspiel inklusive Handhabung von Spannungen
- Beginn der Wahrnehmung gruppengemeinsamer Kompetenz
- Von außen gegebene Voraussetzungen werden problematisiert und Veränderungshandlungen werden untersucht.

Unsere theoretischen Überlegungen als auch die Analyse der Ergebnisse der Studie 1 und der Studie 2 haben unser theoretisches Verständnis so weit entwickelt, dass wir es jetzt wagen können, ein erstes vorläufiges Modell der Fähigkeit der Selbstorganisation als Metaroutine vorzuschlagen (Übersicht 8). Dieses Modell besteht teils aus theoretischen Bausteinen, die sich in Studie 1 und Studie 2 als relevant für die Entwicklung von Reflektion und Lernen in Gruppen (als wichtiges Element der Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation) erwiesen haben und teils aus Bausteinen, die aus angrenzender Forschung (z. B. über Gruppenarbeit) hergeleitet wurden.

Übersicht 7

Beschreibung der inhaltlichen Unterschiede der Gruppen (Studie 2) auf dem Weg eine Fähigkeit zur Selbstorganisation zu entwickeln.

„Theoretische“ Bausteine	Gruppe H2	Gruppe D1	Gruppe C6/C7	Gruppe K3
1) Kompetenz-zusammensetzung				
Variation der Kompetenzbreite (7 Kompetenzfelder)	Majorität hat Kompetenzen in <i>sechs</i> Handlungsfeldern	Majorität hat Kompetenzen in <i>vier</i> Handlungsfeldern	Majorität hat Kompetenzen in <i>fünf</i> Handlungsfeldern	Majorität hat Kompetenzen in <i>fünf</i> Handlungsfeldern
Variation der Kompetenztiefe (Stufen)	homogenes Kompetenzbild mit Schwerpunkt auf Zielniveau, vereinzelt auch auf <i>Veränderungsniveau</i>	Homogenes Kompetenzbild auf <i>Ausführungsniveau</i>	Heterogenes Kompetenzbild mit Schwerpunkt auf <i>Ausführungsniveau</i> ; vereinzelt auch auf <i>Zielniveau</i>	Homogenes Kompetenzbild mit Schwerpunkt auf <i>Ausführungsniveau</i> , vereinzelt auch auf <i>Zielniveau</i>
2) Reflektion				
Reflektionswillen	gruppengemeinsamer Reflektionswillen	nicht vorhanden	nicht kollektiv/ gruppengemeinsam	nicht kollektiv/ gruppengemeinsam
Reflektionsthemen	gruppengemeinsame Themen in Richtung veränderungsorientiertes Handeln	keine Themen	keine gruppengemeinsame Themen	gruppengemeinsame Themen, aber es ist nicht die Aufgabe der Gruppe zu reflektieren
3) Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe (Kollektive Selbstwirksamkeitserwartung)	realistisch	nicht entwickelt	nicht entwickelt	nicht entwickelt
4) Auffassung der Gruppe zu				
Arbeitsaufgaben	Einigkeit über Zielorientierung der Arbeit; Arbeitsverteilung funktioniert nicht optimal <i>Probleme liegen innerhalb der Gruppe bzw. im Zusammenspiel mit dem „Meister“</i>	Man ist sich einig, dass Wertschöpfungsarbeit die zentrale Aufgabe ist; Arbeitsroutinen funktionieren einwandfrei	Ziel der Arbeit wird diskutiert, unterschiedliche Ambitionen; interne Arbeitsverteilung ist problematisch <i>Gruppe ist Eigentümer der Probleme</i>	Einigkeit über Zielorientierung der Arbeit, aber von außen zu Notlösungen gezwungen; Arbeitsverteilung in der Gruppe funktioniert nicht <i>Probleme sind von außen gegeben</i>
Zusammenspiel in der Gruppe	reiches soziales Zusammenspiel inkl. <i>Handhabung von Spannungen</i>	sehr schwaches und <i>unterentwickeltes Zusammenwirken</i>	<i>kein gruppengemeinsames Zusammenwirken</i>	<i>reiches soziales Zusammenspiel</i>
vorhandenen Ressourcen	<i>Beginn</i> der Wahrnehmung gruppengemeinsamer Kompetenz	<i>keine</i> Wahrnehmung gruppengemeinsamer Kompetenz	<i>keine</i> Wahrnehmung gruppengemeinsamer Kompetenz	<i>keine</i> Wahrnehmung gruppengemeinsamer Kompetenz
von außen gegebenen Voraussetzungen	werden <i>problematisiert</i> und <i>Veränderungshandlung</i> werden <i>untersucht</i>	werden <i>unreflektiert akzeptiert</i>	werden <i>unreflektiert akzeptiert</i>	werden <i>kritisiert ohne Veränderungshandlung</i>
produktionsorganisatorischer Arbeitsverteilung	wird <i>problematisiert</i>	<i>keine</i> Kenntnisse vorhanden	wird <i>unreflektiert akzeptiert</i>	wird als <i>Argument angeführt, warum Veränderungen nicht möglich sind</i>
5) Selbstorganisationshandeln	am Anfang stehend	kein Verständnis	kein Verständnis	kein Verständnis

6.1 Modell der Selbstorganisation

Selbstorganisation lässt sich als Metaroutine zur Gestaltung von Arbeitsroutinen begreifen. *Diese Metaroutine(n) sind durch Inhalte, aber auch durch einen Prozess gekennzeichnet.* Kern dieser Metaroutine(n) sind Routinen, die die Reflektion (von Gruppen/Gruppierungen) über die zentralen Elemente der Selbstorganisation steuern.

Die zentralen Elemente der Selbstorganisation sind:

- die Arbeit,
- die Rahmenbedingungen (in Form von gruppeninternen Ressourcen und gruppenexternen Voraussetzungen),
- der Status der Selbstwirksamkeitserwartung und des Selbstorganisationshandelns als auch der veränderungsorientierten Handlungen.

Aus den vorangegangenen Analysen und Diskussionen der Studie 1 und Studie 2 als auch unserer theoretischen Entwicklungsarbeit ist nun langsam eine Gestalt der Fähigkeit zur Selbstorganisation herangewachsen (Übersicht 8). Um es vorwegzunehmen, dies ist ein vorläufiges Modell, das empirisch noch weiter geprüft werden sollte (siehe unsere Ausführungen zu den Begrenzungen dieser Studien).

Übersicht 8 ist eine modellhafte Beschreibung, wie die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation als Metaroutine theoretisch gefasst werden kann. Implizit ist es auch eine Beschreibung der Durchführung der drei Studien.

In Studie 1 wurde die Bedeutung einer Reihe von gegebenen Voraussetzungen auf das Vorhandensein eventueller Metaroutinen für die Reflektion über gerade diese Bedingungen untersucht. Dabei stand die Frage des reinen Vorhandenseins von Reflektion und nicht die Frage der Qualitäten der Reflektion im Vordergrund. Diese Voraussetzungen spielen deshalb eine Rolle, weil sie je nach Ausgestaltung als eine Herausforderung an eine notwendige Reflektion der Gruppe/des Einzelnen in der Gruppe aufgefasst werden. Ist keine Herausforderung da, ist natürlicherweise das Potential zur Reflektion auch gering.

In Studie 2 zeigte sich, dass Reflektion als Handlung unterschiedliche qualitative Ausprägungen hat, je nachdem worüber man reflektiert. Da die in Studie 1 gewählten Einflussfaktoren sich als relevant erwiesen, war es natürlich, die Qualitäten der Reflektion anhand dieser Faktoren zu untersuchen. Es zeigte sich aber auch, dass Reflektion eine Zielsetzung haben muss. In unserem Falle sollte es zu Selbstorganisationshandeln und Effekten von Selbstorganisationshandlungen führen. Es war dieses Ziel, das wir den Gruppen in der Studie 2 vor Augen führten und sie entdecken ließen.

In Studie 3 wurden dann sämtliche Variablen dieses gesamten „Blocks“ (in Übersicht 8 als Stufe 2 bezeichnet) untersucht, unter Berücksichtigung des in Studie 1 getesteten Blocks „Einflussfaktoren auf das Reflektionspotential“.

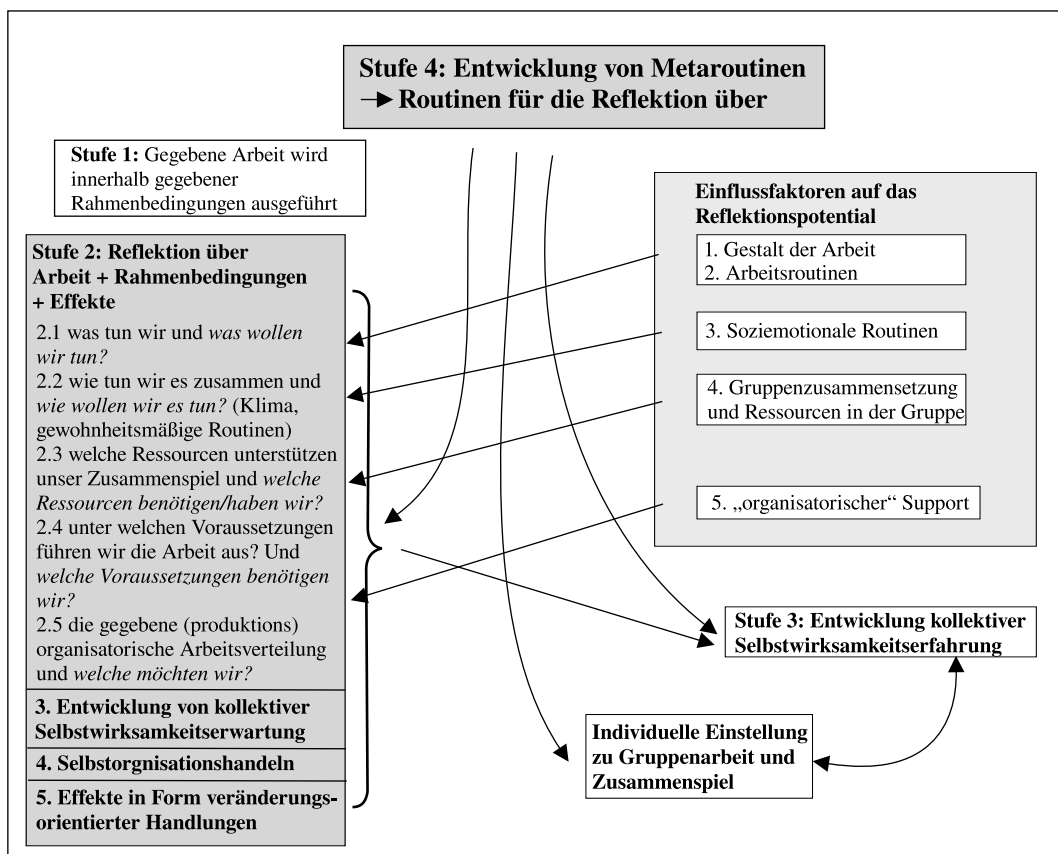
Die eigentliche Fähigkeit zur Selbstorganisation entwickelt sich nach unseren empirischen Erfahrungen aber erst dann, wenn sich die Akteure der einzelnen „Blöcke“

- der Einflussfaktoren auf das Reflektionspotential und
- der Erzielung von Effekten von Selbstorganisationshandeln durch Reflektionsprozesse, die durch die Entwicklung von Metaroutinen unterstützt werden (Stufe 2 in Übersicht 8),

sowie deren Zusammenhänge bewusst sind. Dabei kann auch der Parameter „individuelle Einstellung zu Gruppenarbeit und Zusammenspiel“ eine Rolle spielen.

Übersicht 8

Modell zur Gestalt der Selbstorganisation



Hat sich dieses Bewusstsein über die beschriebenen Zusammenhänge in einer Gruppe entwickelt und die Gruppe nutzt diese Kenntnis, um durch Selbstorga-

nisationshandeln Effekte in Form von veränderungsorientierten Handlungen regelmäßig im Rahmen ihrer Arbeit zu erzielen, dann kann sie Metaroutinen für diese Verhaltensweise entwickeln, die wir zum jetzigen Zeitpunkt als Fähigkeit zur Selbstorganisation bezeichnen wollen. Diese Stufe 4 konnte im Rahmen des vorliegenden Projekts noch nicht untersucht werden.

Unsere Studien bringen uns zu der Auffassung, dass es zwingende Voraussetzungen gibt, damit die Fähigkeit der Selbstorganisation sich entwickeln kann. Wir haben auch schon eine theoretisch fundierte Vorstellung darüber, wie dieser Entwicklungsprozess aussehen kann und gehen schon so weit, dass wir Überlegungen zu einem möglichen Prozess der Entwicklung der Fähigkeit der Selbstorganisation präsentieren.

6.2 Einflussfaktoren auf das Reflektionspotential

Eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation ist die Reflektion der *Beteiligten im Zusammenspiel*. Damit diese Reflektion zustande kommen kann, ist es notwendig, dass bestimmte Anforderungen (kognitiver Art) gestellt werden, die wir als *Job-Design/Gestalt* der Arbeit bezeichnen möchten. Der Reflektionsprozess zu Fragen der Arbeit wird dann durch bereits vorhandene *Arbeitsroutinen* kanalisiert – je nach der Qualität der Arbeitsroutinen besser oder schlechter. Wie sich die Letzteren entwickeln, ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Für das Zusammenspiel (der Gruppe bzw. von Gruppierungen) sind die dort vorhandenen *Ressourcen*, z. B. in Form von Kompetenzen, als einer von vielen Aspekten der *Gruppenzusammensetzung* von Bedeutung. Daneben sind die *sozialen Prozesse* (d. h. wie die Gruppe/die Gruppenmitglieder mit sich selbst umgehen) wichtig.

Dieses Zusammenspiel findet nicht in einem neutralen Raum statt, sondern ist von gewissen *organisatorischen Voraussetzungen* beeinflussbar. Führung, die gemeinsamen Werte in der Organisation sowie Informations- und Wissensflüsse dienen dazu, diese Reflektionsprozesse zu unterstützen. Selbstorganisation geht aber noch weiter und hinterfragt, ob die bestehende *betriebswirtschaftliche/produktionsorganisatorische Arbeitsverteilung* die vorhandenen Kompetenzen freisetzen und zur Anwendung bringen kann.

Zu einem gewissen Zeitpunkt trägt diese gemeinsame Reflektion über oben genannte Aspekte dazu bei, das Vertrauen der Gruppe in die gruppeneigene Handlungskompetenz weiter zu entwickeln. In Anlehnung an Bandura (1995) bezeich-

nen wir dies als *kollektive Selbstwirksamkeitserwartung (group efficacy)* bzw. *Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe*.

6.3 Selbstorganisation als Prozess von Stufe 1 bis Stufe 4

Die oben beschriebenen Elemente oder auch zwingenden Voraussetzungen für Selbstorganisation werden selbst von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, die Bedeutung für das Reflektionspotential der zusammenwirkenden organisatorischen Einheit (hier: Gruppen) haben. Mit *Reflektionspotential* ist hier gemeint, worüber man wie und mit wem unter welchen Voraussetzungen reflektieren kann. Unsere Vorstellung ist: Wenn diese Einflussfaktoren bestimmte Schwellenwerte erreichen, dann ist Reflektion möglich, die dann zur Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation beiträgt.

Diese verschiedenen Bestandteile des Modells müssen natürlich in einer realen Wirklichkeit zusammenwirken. Ausgehend von Beobachtungen und der aktiven Teilnahme in Studie 2 möchten wir von einem Prozess der Entwicklung der Metaroutine(n) „Fähigkeit der Selbstorganisation“ reden.

Eine erste Voraussetzung ist, dass im Zusammenspiel der je nach organisatorischer Einheit teilnehmenden Individuen die „gegebene Arbeit“ nur ausgeführt werden soll (Stufe 1) oder ob weitergehende Möglichkeiten in der Arbeitstätigkeit überhaupt in Frage kommen (siehe die weiteren Stufen).

Danach tritt die Phase (Stufe 2) ein, in der die Mitglieder der organisatorischen Einheit über sowohl Arbeit, Rahmenbedingungen, Effekte, das Vertrauen der „Gruppe“ in das eigene Handlungsvermögen (Status der kollektiven Selbstwirksamkeitserwartung) als auch deren Status des Selbstorganisationshandelns reflektieren.

Diese reflektierende Arbeit im Zusammenspiel in Stufe 2 bringt natürlich auch Erfahrungen und Beweise, inwieweit die Gruppe Vertrauen in ihr eigenes Handlungsvermögen haben kann oder nicht (Stufe 3). Diese Selbstwirksamkeitserfahrungen sind wichtig für die Entwicklung des Vertrauens in die Fähigkeiten der Gruppe (Selbstwirksamkeitserwartungen). Diese sind notwendig, um im Reflektionsprozess weiter voranzuschreiten und um sich auch mit Fragen zu beschäftigen, die bisher außerhalb deren Verantwortungsbereiche lagen.

Mit Hilfe des Zusammenspiels in der „Gruppe“, mit immer besser werdender Kenntnis der gruppeninternen Voraussetzungen (auch Kompetenzen) und der immer höheren kollektiven Selbstwirksamkeitserwartung kann die „Gruppe“ so weit gehen, sogar über gruppenexterne (organisatorische) Voraussetzungen zu reflektieren. Dies erscheint uns der eigentliche „Geburtsmoment“ der Selbstorganisation zu

sein. Die betreffende „organisatorische Einheit“ kommt hier zu einem Punkt, wo sie einsieht (und auch danach handelt), dass weitere Verbesserungen nur erreicht werden können, wenn die Voraussetzung für die Nutzung der Gesamtheit der Kompetenzen nur durch eine Veränderung von weiteren Rahmenbedingungen möglich ist.

Das Durchlaufen dieser Stufen führt dann letztendlich dazu, dass sich Handlungsmuster entwickeln können, Metaroutinen, die den oben beschriebenen Verlauf in Zukunft steuern (Stufe 4). Diese Metaroutine(n) haben dann zur Aufgabe, die beschriebenen komplexen Zusammenhänge aus Einflussfaktoren, Rahmenbedingungen, Zusammenspiel und individuellen Voraussetzungen zu beachten, auseinander zu halten und zu steuern.

Diese Ausführungen stellen unseren derzeitigen Erkenntnisstand zur Thematik dar, der in zukünftigen Projekten noch einer weiteren Detaillierung und Prüfung unterzogen werden sollte. Auch wenn die Modellbildung noch nicht abgeschlossen ist, so haben wir doch in unseren Forschungen Instrumente entwickelt und erfolgreich getestet, die in der Praxis Selbstorganisation erlebbar machen und sozusagen ein Lernlabor darstellen.

6.4 Überprüfung des Modells zur theoretischen Gestalt von Selbstorganisation

6.4.1 Vereinfachtes Modell zur theoretischen Gestalt von Selbstorganisation

Für Studie 3 wurde ein vereinfachtes Modell zur Untersuchung der theoretischen Gestalt des Begriffs Selbstorganisation entwickelt (Übersicht 9).

Außer den in der Studie 1 benutzten theoretischen Bausteinen wurden in der Studie 3 folgende neuen Bausteine operationalisiert bzw. verfeinert:

- Selbstorganisationshandeln
- Veränderungsorientierte Handlungen
- Metaroutinen (Qualität)
- Abhängigkeiten zwischen Gruppenmitgliedern

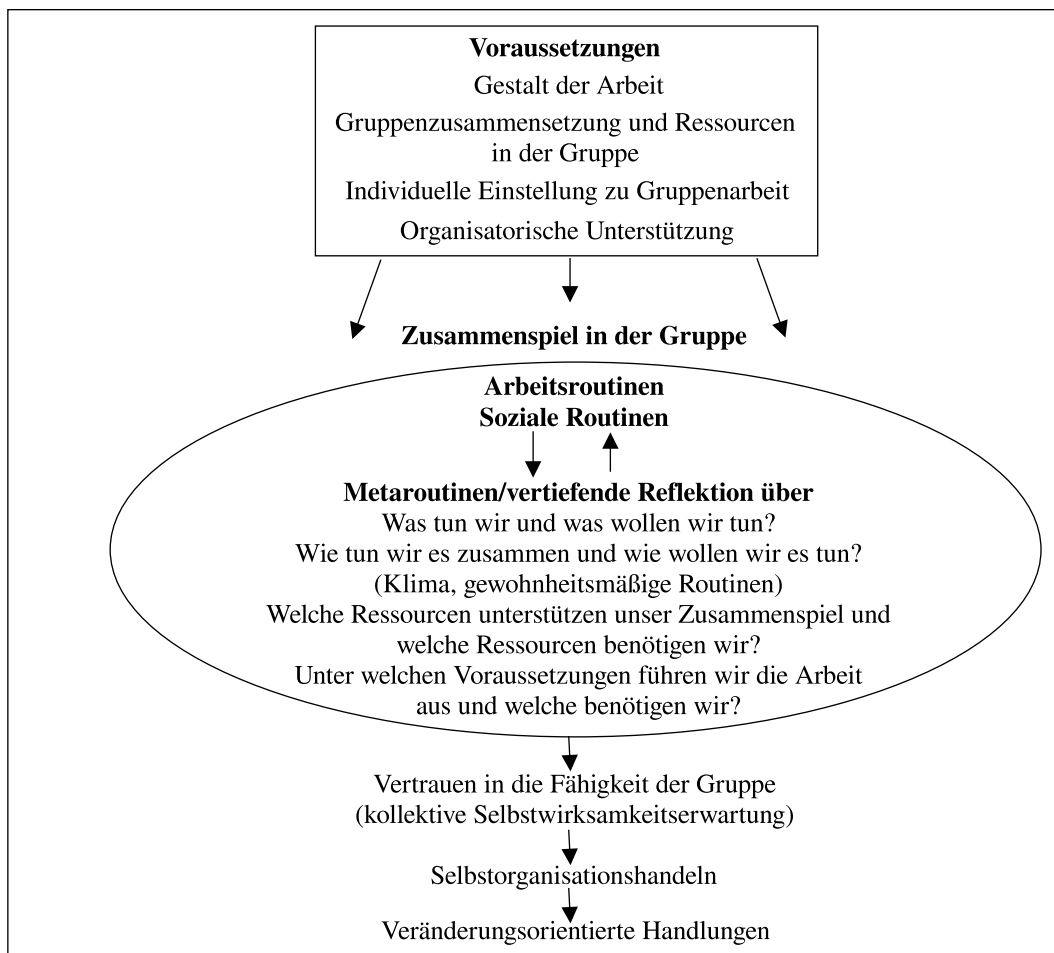
Selbstorganisationshandeln

Um die Situation zu beschreiben, dass Gruppen selbststartend – über die gestellten Anforderungen des Arbeitsplatzes hinausgehend – eigeninitiativ Handlungen planen und ausführen, greifen wir auf das theoretische Konstrukt „Eigeninitiative“

(Frese u. a. 1996, Frese u. a. 1997, Fay/Frese 2001) zurück. Wir bezeichnen diese Aktivitäten als Selbstorganisationshandeln, da diese Handlungen auf Gruppenebene zu verorten sind und nicht wie bei Eigeninitiative auf individuellem Niveau.

Übersicht 9

Vereinfachtes Modell zur theoretischen Gestalt von Selbstorganisation



Mit Eigeninitiative wird ein Arbeitsverhalten beschrieben, bei dem einzelne Personen über die üblichen Anforderungen ihres Arbeitsplatzes hinausgehen. Eigeninitiative ist

- selbststartend – man tut etwas ohne expliziten oder impliziten Auftrag,
- proaktiv – man antizipiert zukünftige Situationen und bereitet sich darauf vor oder löst Probleme, bevor sie tatsächlich entstehen, und
- persistent – angesichts von Barrieren im Vollzug einer eigeninitiativen Handlung gibt man nicht auf (Frese u. a. 1997).

Solch ein Verhalten setzt einen Rekonstruktionsprozess voraus, der die Definition von neuen Zielen – parallel zu bereits vorgeschriebenen Zielen – zulässt. Mit selbststartend ist gemeint, dass diese Ziele nicht von außen vorgegeben sind, son-

dern dass die einzelne Person diese Ziele selbst entwickelt, wobei die gegebenen Aufgaben einen natürlichen Rahmen bedingen. Der Arbeitnehmer übersetzt durch Rekonstruktion extern vorgegebene Aufgaben in interne. Dieser Prozess erlaubt den Beschäftigten, „Extra-Ziele“ zu definieren.

Selbstorganisationshandeln hängt eng zusammen mit dem theoretischen Konstrukt Initiative (Bateman/Crant 1993) und den von Frese (2001) benutzten Begriffen „organizational spontaneity“ (freiwilliges dem Unternehmen dienendes Extra-Rollenverhalten) und „organizational citizen behaviour“ (Bürger von Unternehmen).

In dieser Studie wurde der Begriff Eigeninitiative auf ein kollektives Verhalten zur Arbeit übersetzt. Die Verhaltensweise einer Gruppe kann ähnlich wie die von Individuen mit den Dimensionen aktiv/passiv, reaktiv/proaktiv und selbstinitiiert/von außen initiiert beschrieben werden.

Veränderungsorientierte Handlungen

Mit dieser Effektvariablen wird faktisches Verhalten in Form von veränderungsorientierten Handlungen beschrieben. Die Begriffe Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierte Handlungen beschäftigen sich mit Aktivität, Initiative und dass man mehr ausführt als erwartet. Sie unterscheiden sich aber dadurch, dass Selbstorganisationshandeln eine Auffassung über eine allgemeine Verhaltensweise widerspiegelt, während der andere Begriff faktisches Verhalten beschreibt.

Metaroutinen/vertiefende Reflektion

In der Studie 1 wurde bereits das Vorhandensein von Metaroutinen in der Arbeit der Gruppen hinterfragt. In Studie 3 werden nicht nur Fragen zum Vorhandensein von Metaroutinen, sondern auch zur Qualität der Metaroutinen/vertiefenden Reflektion gestellt; d. h. worüber wird diskutiert und reflektiert. Die Qualität der Metaroutinen wird mit Hilfe von vier Aspekten bewertet:

- Reflektion über Arbeitsroutinen
- Reflektion über Zusammenarbeitsformen und Zusammenarbeitsklima
- Reflektion über die Ressourcen der Gruppe, gemessen als Kompetenz
- Reflektion über vorhandene und benötigte Voraussetzungen/äußere Bedingungen der Arbeit

Abhängigkeit zwischen einzelnen Gruppenmitgliedern

Ein Faktor, der das Zusammenspiel in einer Gruppe stark beeinflussen kann, sind die Abhängigkeitsverhältnisse in der Gruppe (Campion/Papper/Medsker 1996). Generell kann man davon ausgehen, dass starke Abhängigkeitsverhältnisse zwi-

schen den Gruppenmitgliedern sowohl zu einer Intensivierung des Zusammenspiels als auch zu einem inhaltlich reicheren Austausch führen. Mit Abhängigkeit ist zum einen gemeint, wie Gruppenmitglieder miteinander interagieren und voneinander abhängig sind, aber auch eine Art von Zielabhängigkeit zwischen den Zielen einzelner Gruppenmitglieder und dem Gruppenziel.

6.4.2 Studie 3

Diese Studie umfasst 29 Gruppen mit 181 Personen aus drei verschiedenen Produktionsanlagen in drei Unternehmen. Der Fragebogen enthielt ca. 200 Fragen verteilt auf Frageblöcke bezüglich Arbeitsroutinen, sozialen Routinen, Reflektions- und Lernprozessen, Vertrauen in die Kompetenz der Gruppe (kollektive Selbstwirksamkeitserfahrung), Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierten Handlungen. Zielsetzung dieser Studie war es, die theoretische Relevanz der gewählten Bausteine für das Modell der Selbstorganisation zu überprüfen, d. h. ob es statistisch sichergestellte Zusammenhänge zwischen den gewählten Dimensionen gibt, die gewählt und operationalisiert wurden, um die Begriffe des Modells wiederzugeben.

Aufbau des Fragebogens

Im Fragebogen für Studie 3 wurden neue Frageblöcke hinzugefügt, die die neu gewählten Begriffe operationalisierten. Für die bereits in der Studie 3 benutzten Begriffe wurde auf aus anderer Forschung bekannte Operationalisierungen zurückgegriffen (Kapitel 6). Im Folgenden beschreiben wir zunächst die gewählten Aspekte, mit denen die neu gewählten Begriffe empirisch untersucht wurden.

Selbstorganisationshandeln

In dieser Studie wurde der von Frese entwickelte Begriff in dem Sinne weiterentwickelt, dass wir hier die Auffassung des einzelnen Individuums zur kollektiven Verhaltensweise der Gruppe messen. Folgende Aspekte werden hinterfragt:

- Meine Gruppe kümmert sich aktiv um Probleme.
- Wenn etwas nicht richtig ist, versuchen wir umgehend eine Lösung zu finden.
- Falls wir die Möglichkeit haben, uns zu engagieren, dann tun wir das.
- Meine Gruppe übernimmt Initiative, auch wenn andere Gruppen dies nicht tun.
- Meine Gruppe nutzt schnell gegebene Möglichkeiten, um unsere Ziele zu erreichen.

- Im Großen und Ganzen tun wir mehr, als wir gebeten wurden.
- Wir sind gut darin, Ideen umzusetzen.
- Unser Arbeitsmotto ist: Warten und Sehen.

Die Reliabilität dieses Maßes ist zufriedenstellend (Cronbachs Alfa = .72)

Veränderungsorientiertes Handeln

Folgende Fragen wurden benutzt, um dieses Maß (Cronbachs Alfa = .89) abzubilden:

- In unserer Gruppe übernehmen wir neue Arbeitsaufgaben und tun mehr, als uns gesagt wurde.
- Ich kann konkrete Beispiele benennen, die zeigen, wie wir in eigener Initiative Probleme und Aufgaben gelöst haben, die eigentlich Aufgabe anderer sind oder früher nicht ausgeführt wurden.
- In unserer Gruppe bereiten wir Möglichkeiten, die Organisation zu verändern und zu beeinflussen, so dass wir am effektivsten arbeiten können.
- In unserer Gruppe haben wir in eigener Initiative Rahmen und Voraussetzungen für unsere Arbeit verändert.
- In unserer Gruppe haben wir uns größere Freiheiten, Mandate und Befugnisse geschaffen, so dass wir daran teilnehmen können, unsere Arbeit zu verändern und zu entwickeln.
- In unserer Gruppe haben wir Aufgaben übernommen, die komplexer als unsere normalen Aufgaben sind.

Metaroutinen

Das quantitative Vorkommen von Metaroutinen wird wie in Studie 1 als das Vorhandensein von Routinen für Reflektion gemessen (Cronbachs Alfa= .84). Die qualitative Differenzierung von Metaroutinen geschah für folgende vier Aspekte.

1) Routinen zur Reflektion über Arbeitsroutinen (Cronbachs Alfa = .87)

- In unserer Gruppe finden strukturierte Treffen statt, um darüber zu diskutieren, wie wir unsere Arbeitsaufgaben lösen.
- In unserer Gruppe diskutieren wir, wie wir unsere Arbeit effektiver machen können.
- Unsere Gruppe entwickelt gemeinsame Richtlinien dafür, wie wir die Arbeit verbessern und entwickeln können.
- Die Mitglieder der Gruppe entwickeln, ausgehend von gemeinsamen Diskussionen über ihre Arbeitserfahrungen, neue Arbeitsmethoden.

- 2) *Routinen zur Reflektion über Zusammenarbeitsformen und Zusammenarbeitsklima (Cronbachs Alfa = .88)*
- In unserer Gruppe diskutieren wir offen und gemeinsam Normen und Werte, die unsere Zusammenarbeit beeinflussen.
 - In unserer Gruppe finden strukturierte Treffen statt, um darüber zu diskutieren, wie wir die Zusammenarbeit in der Gruppe verbessern können.
 - In unserer Gruppe reden wir darüber, wie wir das Zusammenarbeitsklima in der Gruppe verbessern können.
 - Wir überlegen gemeinsam, was wir tun können, dass sich alle wohlfühlen können und zu ihrem Recht kommen.
- 3) *Reflektion über vorhandene Kompetenz (Cronbachs Alfa = .77)*
- Meine Arbeitskollegen und ich haben ähnliche Auffassungen darüber, welche Fertigkeiten und Kenntnisse die Gruppe besitzt.
 - Wir diskutieren, ob wir die richtigen und ausreichende Kompetenzen für unsere Aufgabe haben.
 - Wir reden offen darüber, was die einzelnen Gruppenmitglieder können und was sie nicht können, so dass alle ihre Kompetenz nutzen und sich in der Arbeit entwickeln können.
 - Wir kennen die früheren Arbeitserfahrungen, Ausbildungen und Fertigkeiten unserer Arbeitskollegen.
- 4) *Reflektion über gegebene und notwendige Voraussetzungen als auch äußere Rahmenbedingungen (Cronbachs Alfa = .85)*
- In unserer Gruppe diskutieren wir konkret und im Detail, wie die Organisation und äußere Voraussetzungen unsere Arbeit beeinflussen.
 - In unserer Gruppe diskutieren wir und entwickeln Vorschläge, welche äußeren Voraussetzungen wir benötigen, um effektiv arbeiten zu können.
 - In unserer Gruppe diskutieren wir die Hindernisse, die dazu beitragen, dass wir nicht die geeigneten Voraussetzungen für unsere Arbeit bekommen.
 - In unserer Gruppe diskutieren wir, welchen Wege wir einschlagen sollen, um die notwendigen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zu schaffen, so dass wir unsere Arbeit weiterentwickeln können.
 - In unserer Gruppe diskutieren wir die Arbeitsverteilung zwischen Gruppen, Abteilungen und Funktionen.
 - In unserer Gruppe diskutieren wir, wie unsere Führungskräfte und Leitungsstruktur sich entwickeln müssen, um unsere Arbeit besser unterstützen zu können.

Abhängigkeit der Gruppenmitglieder

Campions (1996) Fragen zur Messung der Abhängigkeit von Arbeit (task interdependence) und Zielen wurden ebenfalls genutzt:

Arbeitsaufgaben (Cronbachs Alfa = .69):

- Ich kann meine Arbeitsaufgaben nicht ohne Information oder Material von anderen Gruppenmitgliedern durchführen.
- Die übrigen Gruppenmitglieder benötigen Informationen bzw. Material von mir für die Durchführung ihrer Arbeitsaufgaben.
- Die Arbeitsaufgaben, die in meiner Gruppe ausgeführt werden, hängen zusammen.

Ziel (Cronbachs Alfa = .80):

- Das Ziel meiner eigenen Arbeit hängt direkt mit dem Ziel meiner Arbeitsgruppe zusammen.
- Meine Aufgaben an einem Arbeitstag hängen direkt zusammen mit dem Ziel meiner Arbeitsgruppe an diesem Arbeitstag.

Autonomie und Einflussnahme

In dieser dritten Studie wurde die Gestalt der Arbeit (Job Design) als individuelle Auffassung über Autonomie und Einflussnahme gemessen. In Studie 1 wurden im Gegensatz dazu Arbeitsanalysen durchgeführt.

Autonomie (Cronbachs Alfa = .74)

- Die Mitglieder in meiner Gruppe haben die Verantwortung, über Methoden und Vorgehensweisen zu entscheiden.
- Es ist eher meine Gruppe als mein Vorgesetzter, die darüber entscheidet, wer welche Arbeitsaufgaben in der Gruppe ausführt.
- Die meisten arbeitsbezogenen Entscheidungen werden eher von den Gruppenmitgliedern als vom Vorgesetzten gefasst.

Einflussnahme (Cronbachs Alfa = .74)

- Als Gruppenmitglied habe ich große Möglichkeiten, darauf Einfluss zu nehmen, wie die Gruppe ihre Arbeitsaufgaben ausführt.
- Die Mitglieder in meiner Gruppe haben die Möglichkeit, am Entscheidungsprozess teilzunehmen.
- Meine Gruppe ist so organisiert, dass alle die Möglichkeit haben, am Entscheidungsprozess teilzunehmen.
- Ich bin der Auffassung, dass wir genügend Möglichkeiten haben, um übergreifende Voraussetzungen, die unserer Arbeit beeinflussen, diskutieren und beeinflussen zu können.

- Ich bin der Auffassung, dass wir ausreichend große Einflussnahme auf Entscheidungen haben, die unsere Gruppe betreffen.
- Ich bin der Auffassung, dass wir ausreichend großen Einfluss auf unsere eigene Arbeit haben, so dass wir bestimmte Aufgaben auf später verschieben können, falls wir zu z. B. zu viel zu tun haben.
- Wir haben die Möglichkeit, Arbeitsaufgaben so zu planen und auszuführen, wie es für uns am effektivsten ist.
- Vorhandener Zeitdruck beeinflusst uns so, dass wir unsere Arbeit schlechter verrichten, als wir Voraussetzungen dazu haben.
- Wir haben zu viele Arbeitsaufgaben, was unsere Möglichkeiten verschlechtert, effektiv zu arbeiten.

Ergebnisse

Die Auswertung der Studie 3 zeigt, dass in der Mehrzahl der gemessenen Untersuchungsvariablen eine individuelle Streuung vorliegt. Sie ist jedoch relativ gering für die Untersuchungsvariablen Arbeitsroutine, Selbstorganisationshandeln und die quantitative Ausprägung der Metaroutinen. Die Variation ist am größten für die Variablen „individuelle Einstellung zu Gruppenarbeit“ und „Abhängigkeitsverhältnisse in der Gruppe“.

Die individuellen Einschätzungen der Gruppenmitglieder sind für sämtliche Variablen am oberen Ende der Skala zu finden, d. h. es ist davon auszugehen, dass sich die einzelnen Individuen höher bewerten, als dies tatsächlich der Fall sein sollte. Aber auch da gibt es Unterschiede. Die Streuungen der Untersuchungsmasse für die quantitativen als auch qualitativen Aspekte von Metaroutinen, „veränderungsorientiertes Handeln“, „Selbstwirksamkeitserfahrung“ und „Selbstorganisationshandeln“ konzentrieren sich um den Skalenmittelpunkt. Verglichen mit dem faktischen Verhalten der Gruppenmitglieder, gemessen als ‚veränderungsorientierte Handlungen‘, sind die Einschätzungen der Gruppenmitglieder für deren generelle Verhaltensweise (Selbstorganisationshandeln) und deren Vertrauen in die Fertigkeiten der Gruppe (Selbstwirksamkeitserwartung) auf einem höheren Niveau angesiedelt.

Bedeutung der Voraussetzungen für die Arbeit für das komplexe Zusammenspiel zwischen Arbeitsroutinen, sozialen Routinen und das Vorhandensein von Metaroutinen.

Die statistische Analyse der Interviewdaten zeigt:

- einen positiven Zusammenhang zwischen „Gestalt der Arbeit“ (Job Design), Arbeitsroutinen, sozialen Routinen und Metaroutinen,

- einen positiven Zusammenhang des Aspekts „Aufgabenabhängigkeit“ („task interdependance“) der Untersuchungsvariablen „Abhängigkeit der Gruppenmitglieder“ mit dem Aspekt „Lernen und Austausch von Arbeitsroutinen“ der Untersuchungsvariablen „Metaroutine“ und der Untersuchungsvariablen „Arbeitsroutine“;
- einen positiven Zusammenhang zwischen „Gruppenzusammensetzung“ und „Arbeitsroutinen“, „sozialen Routinen“ und fast allen qualitativen Aspekten der „Metaroutinen“.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass die Voraussetzungen für die Arbeit der Gruppen, wie erwartet, das Zusammenspiel der Gruppe beeinflussen. Die Abhängigkeitsverhältnisse in der Gruppe haben dagegen wenig Bedeutung für das Zusammenspiel.

Bedeutung der Rahmenbedingungen der Arbeit für das Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe, Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierte Handlungen.

Die Analyse zeigt

- einen positiven Zusammenhang der Untersuchungsdimension „Gestalt der Arbeit“ mit „Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe“ („Selbstwirksamkeitserfahrung“), „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierten Handlungen“. Eine Ausnahme gibt es bezüglich des Aspekts „Einflussnahme“ (Untersuchungsdimension „Gestalt der Arbeit“). Hier wurde ein negativer Zusammenhang mit „veränderungsorientierten Handlungen“ aufgezeigt.
- mit einer Ausnahme keinen Zusammenhang der Untersuchungsdimension „Abhängigkeit der Gruppenmitglieder“ mit „Selbstwirksamkeitserfahrung“, „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierten Handlungen“. Die Ausnahme ist der schwach positive Zusammenhang zwischen „Zielabhängigkeit“ und „Selbstorganisationshandeln“.
- eine positive Zusammensetzung des Aspekts „Einstellung zur Gruppenarbeit“ der Untersuchungsdimension „Gruppenzusammensetzung“ mit „Selbstwirksamkeitserfahrung“, „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierten Handlungen“. Der Aspekt „Kompetenzzusammensetzung“ zeigt dagegen nur einen schwach positiven Zusammenhang mit „Selbstwirksamkeitserfahrung“.
- einen positiven Zusammenhang des Aspekts „Training in Gruppenarbeit“ der Untersuchungsdimension „organisatorische Unterstützung“ mit „Selbstwirksamkeitserfahrung“, „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierten Handlungen“. Der Aspekt „Unterstützung durch die Führung“

der gleichen Untersuchungsdimension korreliert positiv mit „Selbstwirksamkeitserfahrung“ und „Selbstorganisationshandeln“, aber nicht mit „veränderungsorientierten Handlungen“.

Bedeutung der Gestalt des Zusammenspiels für das Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe, Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierte Handlungen

- Die Untersuchungsdimensionen „Arbeitsroutinen“ und „soziale Routinen“ zeigen einen starken statistischen Zusammenhang.
- „Arbeitsroutinen“ und „soziale Routinen“ haben jeder für sich einen starken positiven Zusammenhang mit „Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe“ („Selbstwirksamkeitserfahrung“), „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierte Handlungen“.
- Es gibt einen starken statistischen Zusammenhang zwischen „Metaroutinen“ auf der einen Seite und „Selbstwirksamkeitserfahrung“, „Selbstorganisationshandeln“ und „veränderungsorientierte Handlungen“ auf der anderen Seite.

Zusammenfassend für sämtliche beschriebenen Ergebnisse können wir feststellen, dass die Gestalt des Zusammenspiels in der Gruppe größere Bedeutung für Selbstwirksamkeitserfahrung, Selbstorganisationshandeln und veränderungsorientierte Handlungen hat als die „Voraussetzungen für die Arbeit“.

Bedeutung einzelner Untersuchungsdimensionen für das Vorhandensein „veränderungsorientierter Handlungen“

In Übersicht 10 sind die Ergebnisse einer linearen Regressionsanalyse zusammengestellt. Die Zusammenstellung zeigt, welche Untersuchungsvariablen (theoretischen Bausteine) zum Vorhandensein von „veränderungsorientierten Handlungen“ beitragen. Die Zusammenlegung sämtlicher Erklärungswerte für die Effektvariable kann als hoch angesehen werden ($R^2 = 0.41$). Die Untersuchungsdimensionen, die signifikant zu den „veränderungsorientierten Handlungen“ beigetragen haben, sind:

- Metaroutinen,
- Selbstorganisationshandeln und
- die Gestalt der Arbeit.

Es gibt auch eine leichte Tendenz, dass die Untersuchungsdimension „organisatorische Unterstützung“ positiv zu „veränderungsorientierten Handlungen ist“ während der Einfluss von Arbeitsroutinen eher negativ ist.

Übersicht 10

Regressionsanalyse für die Effekte in Form veränderungsorientierter Handlungen

Effekte ...	Unab. V.	R2B	Beta t	sign
Total	.41			
Vertrauen in die Fähigkeit	0.15	0.016	0.196	0.84
Selbstorganisationshandeln	0.441	0.283	3.042	0.003**
Metaroutinen	0.646	0.283	3.042	0.000**
Arbeitsroutinen	-0.212	-0.156	-0.182	-0.071
soziale Routinen	0.003	0.002	0.025	0.983
Gestalt der Arbeit	0.162	0.155	2.109	0.036**
Abhängigkeit	-0.043	-0.039	0.609	0.542
Gruppenzusammensetzung	-0.013	-0.010	-0.149	0.812
Organisatorische Unterstützung	-0.135	-0.129	-1.877	0.062

Übersicht 11

Schrittweise Regressionsanalyse für „Veränderungsorientierte Handlungen“

Effekte	Unab. Var.	R ²	R ² _{change}	sign
Step 1	.32	.32	0,000**	
Metaroutinen				
Step 2		0.033	.004**	
Metaroutinen				
Selbstorganisationshandeln				
Step 3		0,018	.027**	
Metaroutinen				
Selbstorganisationshandeln				
Organisatorische Unterstützung				
Step 4		0,015	0.042**	
Metaroutinen				
Selbstorganisationshandeln				
Organisatorische Unterstützung				
Gestalt der Arbeit				
Step 5		0.016	0.034**	
Metaroutinen				
Selbstorganisationshandeln				
Organisatorische Unterstützung				
Gestalt der Arbeit, Arbeitsroutinen				

Die Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse (Übersicht 11) zeigen den Erklärungswert der einzelnen Dimensionen. „Metaroutinen“ ist die absolut wichtigste Untersuchungsdimension, um das Vorhandensein von „veränderungsorientierten Handlungen“ zu erklären. Sie allein macht 32 Prozent des gesamten Erklärungswerts von 42 Prozent aus. Die übrigen signifikanten Beiträge zu veränderungsorientierten Handlungen sind: Selbstorganisationshandeln, organisatorische Unterstützung, Gestalt der Arbeit und Arbeitsroutinen.

Methodische Begrenzungen

Methodisch ist mit Fragebogenerhebungen das Problem verbunden, dass die subjektiven Einschätzungen der teilnehmenden Personen immer von einer wie auch immer gearteten sozialen Erwartungshaltung beeinflusst sind. Die Resultate der Studie 3 sollten in dem Sinne sehr vorsichtig gedeutet werden. Dies gilt vor allem für die Untersuchungsvariablen „Selbstorganisationshandeln“, „Vertrauen in die Fähigkeit der Gruppe“ („Selbstwirksamkeitserwartung“) und „veränderungsorientierte Handlungen“. Dies beeinflusst jedoch nicht die zentralen Resultate dieser Studie, d. h. die Relevanz der gewählten theoretischen Bausteine und deren inneren Zusammenhang. Diese tragen dazu bei, die theoretische Gestalt von Selbstorganisation als Metaroutine sichtbar und greifbar zu machen.

Die Ergebnisse der Studie 3 und die in der Studie 1 von Experten durchgeführten Arbeitsanalysen zeigen deutliche Unterschiede bezüglich der Beurteilung der Untersuchungsdimension „Autonomie“, und dies bei nahezu unveränderter Arbeit. Die Expertenbeurteilungen lagen auf einem niedrigeren Niveau als die Selbstbeurteilung der Gruppenmitglieder.

Die Expertenbeurteilungen der Gruppen/Individuen der Studie 2 und die durch die Studie 3 erhaltenen subjektiven Ergebnisse weichen voneinander ab bezüglich der Untersuchungsdimension „veränderungsorientierte Handlungen“. Die subjektiven Beurteilungen liegen höher, aber die interne Rangfolge zwischen den einzelnen Gruppen in Bezug auf diese Untersuchungsdimension bleibt unverändert.

7 Schlussfolgerungen und Diskussion

Empirische Beweise für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation sind nach den Ergebnissen der vorliegenden Studien darin zu sehen, dass aus einer organisatorischen Einheit (z. B. Gruppe) heraus aus eigener Initiative und proaktiv Handlungen entwickelt werden, die über die gegebene Aufgabe, das gegebene Ziel und über den gegebenen Rahmen hinausgehen.

Das präsentierte Modell (Übersicht 8) zeigt eine komplexe Struktur auf, von der wir aber ausgehen sollten, falls wir Selbstorganisation als Metaroutine verstehen wollen. Das vorgeschlagene theoretische Modell beinhaltet die implizite Aussage, dass sämtliche untersuchte theoretische Bausteine von Bedeutung sind, um Selbstorganisationshandeln erklären und entwickeln zu können.

Eines der Ergebnisse dieser Studie ist, dass wir zwischen Selbstorganisationshandeln und eventuellen Effekten von Selbstorganisationshandeln unterscheiden, die hier als veränderungsorientierte Handlungen bezeichnet werden.

Um Selbstorganisation entwickeln zu können, denken wir, dass ausgehend von den theoretischen Überlegungen und den empirischen Erfahrungen folgende theoretische Bausteine von besonderer Wichtigkeit sind:

- *die Voraussetzungen* mit den Aspekten „Gestalt der Arbeit“, „Gruppenzusammensetzung und Ressourcen der Gruppe“ und das Vorhandensein „organisatorischer Unterstützung“, die bedeutenden Einfluss auf das Reflektionspotential der Gruppe/Individuen haben,
- *die Metaroutinen zur Reflektion* über die Bedeutung dieser Einflussfaktoren auf das Zusammenspiel in Gruppen und Gruppierungen, unter Berücksichtigung vorhandener *Arbeitsroutinen* und *sozialer Routinen (soziemotionaler Routinen)*,
- *das Vertrauen in die Fähigkeiten* der Gruppe (Selbstwirksamkeitserwartung),
- *das Selbstorganisationshandeln* und
- *Effekte in Form von veränderungsorientierten Handlungen.*

Erst wenn Selbstorganisationshandeln zu veränderungsorientierten Handlungen führt, die sich mit den Zielen von Unternehmen und Organisationen auseinandersetzen, können wir behaupten, dass die Fähigkeit zur Selbstorganisation effektiv war.

Wenn wir von Selbstorganisation als Metaroutine sprechen wollen, dann beinhaltet dies sämtliche oben genannten Aspekte, d. h. um Selbstorganisation als Meta-

routine verstehen zu können, gehen wir von einem systemischen Ansatz aus. Alles hängt mit allem zusammen, könnte man lakonisch behaupten. Unsere Behauptung beinhaltet zwei Aspekte: Zum einen müssen die Akteure, die nach Selbstorganisation streben, diese Zusammenhänge in irgendeiner Art kennen gelernt haben (d. h. z. B. in Form unseres Modells). Zum anderen müssen die Akteure diese Kenntnis nutzen, um Selbstorganisationshandeln zu erreichen. In diesem Sinne kann es verschiedenartige *Ausprägungen dieser Nutzung der beschriebenen Zusammenhänge* (Reflektion über die Gesamtzusammenhänge) geben und es sind diese, die wir als Metaroutinen der Selbstorganisation bezeichnen wollen.

Vor allem Studie 2 hat gezeigt, warum sich Selbstorganisation nicht als Metaroutine entwickelt und woran diese Entwicklung scheitern kann. In allen Fällen war es so, dass bestimmte theoretische Bausteine (z. B. das Vertrauen in die Fähigkeiten der Gruppe/Selbstwirksamkeitserwartung, das Entstehen von Selbstorganisationshandeln) nicht beachtet wurden. Deutlich war auch, dass niemand in den untersuchten Unternehmen/Produktionsabschnitten das oben beschriebene Gesamtsystem bewusst handhabte, sich niemand dafür verantwortlich fühlte. Es gab nur eine Art Teilverantwortung für einzelne Bestandteile, wie z. B. die oben beschriebenen Voraussetzungen (Einflussfaktoren auf das Reflektionspotential) oder für bestimmte Teilaspekte der Metaroutinen des Zusammenspiels. Besonders ausgeprägt war dieses Interesse z. B. für Vorhandensein von Arbeitsroutinen (Gruppensitzungen, Wahl von Gruppensprechern usw.).

7.1. Fähigkeit zur Selbstorganisation

Es wurde ein Modell (Übersicht 8) entwickelt, das sowohl die theoretischen Bausteine der Fähigkeit zur Selbstorganisation als auch den Prozess deren Entstehung beachtet. Zusammenfassend konnten die Studien zeigen, dass die im Untersuchungsmodell benutzten theoretischen Bausteine relevant sind, d. h. die empirischen Resultate unterstützen unseren Ausgangspunkt, dass die benutzten inhaltlichen Bausteine dazu beitragen, die Fähigkeit zur Selbstorganisation zu erklären. Diese Begriffe „Voraussetzungen“, „Reflektion“, „Interaktion“ und „Effekte“ wurden dann im Laufe der Studie noch weiter verfeinert und differenziert, um das theoretische Konstrukt „Selbstorganisation“ besser erklären zu können.

Die Ergebnisse der Studien 1 bis 3 zeigen, dass die Beziehungen zwischen den Bausteinen des Modells, d. h. die Prozesskomponente sehr komplex ist. In zukünftigen Analysen und Studien sollte daher die Untersuchung der Beziehungen zwischen den einzelnen theoretischen Bausteinen mehr im Vordergrund stehen. Zusammenfassend können wir damit die Fähigkeit zur Selbstorganisation mit Hilfe folgender Festschreibungen charakterisieren:

1) *Die Fähigkeit zur Selbstorganisation ist eine Folge des Zusammenspiels von Facetten von individuellen Kompetenzen*

Die Ergebnisse der hier präsentierten Studien deuten darauf hin, dass die Fähigkeit zur Selbstorganisation eine Art *resultierende Kompetenz* des Zusammenwirkens einer Reihe unterschiedlicher Kompetenzfacetten ist, zu vergleichen mit einem resultierenden Vektor. Wobei zu beachten ist, dass wir gezeigt haben, dass diese Kompetenzfacetten von unterschiedlichen Personen beigetragen werden.

Diese Fähigkeit zur Selbstorganisation kann in unterschiedlichen Handlungsfeldern wirken. Sie setzt aber voraus, dass einzelne Personen in einem oder mehreren Handlungsfeldern veränderungsorientierte Handlungen ausführen können, d. h. es müssen bereits Kompetenzen (auf Veränderungsniveau) vorhanden sein, die darauf gerichtet sind, zu neuen/veränderten Zielen beizutragen. Erst wenn einzelne Personen dieses „Veränderungsniveau“ erreicht haben, besteht die Möglichkeit, einen Selbstorganisationsprozess auf Gruppenniveau zu *initiieren*.

Andere Personen (in der Gruppe) können in diesem Selbstorganisationsprozess aktiv *mitwirken*, wenn diese in ihrer Kompetenzentwicklung soweit gekommen sind, dass sie in ihren Handlungen die Ziele des jeweiligen Handlungsfelds aktiv berücksichtigen, d. h. es sind Kompetenzen auf Zielorientierungsniveau (Kapitel 3.2) vorhanden. Um die Fähigkeit zur Selbstorganisation entwickeln zu können, müssen beide oben genannten Voraussetzungen erfüllt sein. Erst dann können vorhandenes Wissen, Erfahrungen und Fähigkeiten auf neue Zusammenhänge und neue bzw. veränderte Zielsetzungen übertragen werden.

2) *Die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation geschieht im Grenzschnitt zwischen individueller und organisationaler Ebene*

Die Initiierung von selbstorganisiertem Handeln auf Organisationsebene setzt eine Integration/Verflechtung verschiedener individueller Kompetenzentwicklungsprozesse voraus. Ausgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen, trotz all ihren Begrenztheiten, ist die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation auf organisatorischer Ebene zu verorten. Es setzt aber voraus, dass individuelle Kompetenzen auf sowohl Zielorientierungs- als auch Veränderungsniveau existieren.

3) *Die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation baut auf der Möglichkeit zu gemeinsamer Reflektion und Zusammenspiel auf*

Auf individueller Ebene bedeutet dies, Organisationsmitglieder in die Lage zu versetzen, Probleme selbst zu erkennen, selbst interpersonelle Beziehungen expe-

rimentell zu erproben und selbst organisatorische Bedingungen zu schaffen, die ihren Bedürfnissen angemessen sind. Das heißt, Reflektion muss möglich und gewünscht sein.

Für die Kompetenzentwicklung bedeutet dies, dass sich die Fähigkeit zur Selbstorganisation in ihrer Gesamtheit kaum in der Kompetenzstruktur einzelner Personen abbilden kann, sondern sich eher situationsadäquat im Zusammenspiel verschiedener Personen transversal zu rein fachlichen Spezialisierungen entwickelt. Man könnte argumentieren, dass diese Fähigkeit zur Selbstorganisation eine Metakompetenz darstellt, die das Entwickeln und Überleben in und von selbstorganisierten Systemen sichert, die aber auch erst einmal in selbstorganisierenden Systemen oder Situationen in ihren Bestandteilen/Facetten (im Sinne von anderen Kompetenzen), im Rahmen der beruflichen Biographie auf höchstes Niveau entwickelt werden muss.

4) Rahmenbedingungen sind Voraussetzung und Anforderung an die Fähigkeit der Selbstorganisation

Ausgehend von der oben eingeführten Definition von Kompetenz wird die Fähigkeit zur Selbstorganisation auf die möglichen Handlungsfelder der Arbeitstätigkeit bezogen. Wichtig für die Ausprägung der Kompetenz sind die Verhältnisse, unter denen die Handlungsausführung stattfindet. Zum einen deswegen, weil diese erlebten Verhältnisse als bestimmend für die Handlungsausführung (und damit nutzbaren Kompetenzen) aufgefasst werden können, und zum anderen, weil die mehr oder weniger bewusste Einverleibung/Integration/Auseinandersetzung mit diesen Rahmenbedingungen für die Handlungsausführung eine Komponente von (höherer) Kompetenz, in unserem Sinne der Fähigkeit zur Selbstorganisation ist.

Die Tätigkeitsausführung ist also eingebettet in Rahmenbedingungen, die die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation fördern bzw. behindern können und die damit als Bestandteil von Voraussetzung für die Entwicklung von Selbstorganisation abgebildet werden müssen. Als Kategorien für Rahmenbedingungen wurden die Aspekte Führung/Werte, betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen, Informations-/Wissensflüsse (Organisation) und persönliche Disposition/Kompetenz berücksichtigt.

Die vorliegenden Untersuchungen deuten an, dass Rahmenbedingungen eine zweifache Bedeutung für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation haben:

- als Voraussetzung für eventuelle Selbstorganisation, sozusagen als kritische Grenze (d. h. erfüllen die Rahmenbedingungen bestimmte Voraussetzungen nicht, ist Selbstorganisation quasi unmöglich),

- als Anforderungen/Handlungskomponenten/Handlungsmöglichkeiten, mit denen der Einzelne/eine Gruppe/eine organisatorische Einheit umgehen muss (d. h. deren Bedeutung erkennen und eventuell deren Ausprägung ändern), um bestimmte Ziele zu erreichen.

Daraus könnte gefolgert werden, dass erst, wenn diese kritische Grenze überwunden ist, die Fähigkeit der Selbstorganisation als Handlung verifiziert werden kann. Es ist dann gerade die Handhabung der beschriebenen kontextuellen Verhältnisse, die einen Aspekt der Fähigkeit zur Selbstorganisation ausmacht.

7.2 Verwertbarkeit der Ergebnisse

7.2.1 Wissenschaftliche Verwertbarkeit und nächste Schritte

1. Die vorliegende Studie benutzt Ausgangspunkte aus einer Vielzahl theoretischer Ansätze (Wissensmanagement, Kompetenzforschung, Arbeits- und Organisationspsychologie, Sozialpsychologie, Innovationsforschung usw.), um das gestellte Problem der „Selbstorganisation als Metakompetenz“ zu bearbeiten. Es zeigt sich, dass diese Synthese unterschiedlicher Beiträge wahrscheinlich einen entscheidenden Beitrag dazu leistete, um die Entstehung von Selbstorganisation und Selbstorganisationshandeln (als Veränderungshandeln) vorläufig erklären zu können. Die Studie zeigt, dass Forschung über Selbstorganisation die Integration unterschiedlicher Forschungsdisziplinen erfordert. Es wurde ein Modell zur Beschreibung und Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation (Selbstorganisations-Kompetenz) erarbeitet, das die Elemente des an anderer Stelle beschriebenen Ansatzes der Wissensökologie (North 2002) mit dem diskutierten Kompetenzmodell nach Lantz/Friedrich (2003) verbindet.
2. Die vorliegende Untersuchung trägt zur weiteren Erforschung der Selbstorganisation bei, indem davon ausgegangen wird, dass diese Fähigkeit im Verlaufe eines Prozesses geschaffen wird. Dies ist wichtig, da ein Großteil der Forschung Selbstorganisation als etwas betrachtet, das in einem bereits vorgegebenen Rahmen ausgeführt wird.
3. Die Ergebnisse dieser Studie liefern einen Beitrag zu der Diskussion, ob Selbstorganisation sich in Abhängigkeit von Personen- bzw. Arbeitsvariablen entwickelt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Gestalt der Arbeit ein wichtigerer Parameter ist als die Persönlichkeit einzelnen Individuen. Die Resultate deuten aber auch darauf hin, dass die Reflektion über die Bedeutung der Qualität der Arbeit für das Zusammenspiel in der Gruppe wichtiger ist als die Gestalt der Arbeit.

4. Diese Studie kann auch einen Einfluss auf die derzeitigen Nachfolger der Forschung zu autonomen bzw. selbststeuernden Gruppen haben, deren Ausgangspunkt es bisher immer war, dass eine gegebene Arbeit in einem gegebenen Rahmen selbstständig ausgeführt werden sollte, und die daher immer nur die Effekte dieser Begrenzung studiert haben. Mit dem hier vorgeschlagenen Ansatz können andere Effekte entdeckt und identifiziert werden. Dies hat auch gerade deswegen praktische Bedeutung, da kollektive Handlungen in Form von Gruppenarbeit oder Netzwerken als Organisationsform in der industriellen Welt mit Skepsis begegnet wird (zum Teil mit dem Argument der niedrigeren Produktivität).

Im vorliegenden Projekt wurde ein komplexes theoretisches Modell der Selbstorganisation durch qualitative und quantitative Studien überprüft. Die Resultate zeigen, dass die theoretischen Bausteine zum Verständnis von Selbstorganisation beitragen. In der weiteren Forschung sollte man mit Hilfe von Längsschnittstudien die Entwicklung von Selbstorganisation untersuchen. Die Zusammenhänge zwischen den theoretischen Bausteinen sind komplex und empirisch schwer zu fassen. Dies erfordert eine weitere Verfeinerung der theoretischen Begriffsdefinitionen und eine weitere Prüfung der Struktur des Modells. Hierzu wird umfassenderes empirisches Material benötigt und die Studie sollte in solchen Bereichen repliziert werden, in denen man vermuten kann, dass größere Möglichkeiten für Anforderungen an Selbstorganisation gestellt werden.

Ein Feld, das sich anbietet, ist die Untersuchung der Bedeutung der Fähigkeit zur Selbstorganisation für die Entwicklung von Innovationskompetenzen, z. B. als die Entwicklung einer grundlegenden Theorie zu Innovationsfähigkeiten aus kompetenztheoretischer Sicht, die auf den Prinzipien der Selbstorganisation und der Wissensökologie aufbaut. Eine solche Theorie sollte Innovationskompetenzen in ihrem Wirkungszusammenhang beschreiben, so dass daraus Handlungsanleitungen für Interventionen zur Gestaltung von Innovationsfähigkeiten in der Praxis abgeleitet werden können.

7.2.2 Praktische Verwertbarkeit

Der weitere praktische Nutzen dieser Studien kann darin bestehen, dass das Management von Unternehmen und deren Berater, die darauf hinarbeiten, Selbstorganisation zu entwickeln, eher die Arbeit und die organisationalen Voraussetzungen verändern sollten als wie üblich die personelle Zusammensetzung der Gruppe zu beeinflussen. Die Voraussetzungen für Reflektion als auch die Unterstützung der Reflektionsprozesse über das Zusammenspiel sind zentral für die Entwicklung von Selbstorganisation.

Für die Organisationsentwicklung in Unternehmen könnten die Resultate dieser Studie die Erkenntnis unterstützen, dass Organisationsstrukturen als Hindernis für die Entwicklung von Selbstorganisation erkannt werden. Die vorliegende Studie deutet darauf hin, dass eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation das Ersetzen des individuellen Expertentums durch ein „System von Kompetenzen“ ist.

Die von Unternehmen oft benutzte Klassifizierung von Personen in unterschiedlichen Positionen bedeutet, dass implizit bestimmte Kompetenzerwartungen an die einzelnen Personen gestellt werden, wie beispielhaft in Übersicht 12 dargestellt. Diese Kompetenzerwartungen können sich kontraproduktiv zu dem Anspruch verhalten, die Fähigkeit der Selbstorganisation zu entwickeln. Von vornherein wird – durch die Erwartungshaltung bestimmt – auf bestimmte Kompetenzen fokussiert. Kompetenzen, die z. B. mit der Handhabung von organisationalen Voraussetzungen, mit Zusammenarbeit und mit Prioritätensetzung zu tun haben, werden dadurch kaum Beachtung finden. Außerdem wird die Übertragbarkeit von Kompetenzen nicht beachtet, da von Anfang an bestimmte Personen für bestimmte Kompetenzen zuständig sind.

Erst die Auflösung dieses Vorbestimmtseins durch die Entwicklung einer „Gestalt“, die wir „System von Kompetenzen“ genannt haben, ermöglicht es, die Handlungsfähigkeit einzelner Personen in eine Fähigkeit der Selbstorganisation umzusetzen. Durch die Reflektion über und die Entwicklung/Veränderung gemeinsamer Ziele, die Kenntnis und das Bewusstmachen sämtlicher Kompetenzen, kann der nächste Schritt getan werden, und zwar die vorhandenen Kompetenzen durch Selbstorganisationshandeln auf neue Bereiche/Situationen zu übertragen. Diese Vorgehensweise hat möglicherweise auch einen positiven Einfluss auf die Handlungsbereitschaft des Einzelnen und dadurch indirekt auf das Selbstorganisationshandeln.

Schon die Analyse von Zuliefererbeziehungen aus kompetenztheoretischer Perspektive (North/Friedrich 2002) machte deutlich, dass diese von den Beteiligten in erster Linie als ein System der Arbeitsteilung bzw. als Abhängigkeitsverhältnis (Abnehmer-Zulieferer) betrachtet werden. Ähnliches gilt für die Gruppenarbeitsstudien. In dieser Art von System werden Probleme und Informationen und eventuelle Lösungen hin- und hergeschickt, ohne sich darüber Gedanken zu machen, darüber zu reflektieren, ob die einzelnen Teile einer gemeinsamen Logik folgen und wie diese Teile wieder zusammengefügt werden sollten. Die Realität ist, dass die einzelnen Experten nicht das Gesamtsystem sehen, bzw. ihre Rolle, ihre Kompetenzen im Gesamtsystem, sondern man sieht nur seine Funktion im Teilsystem.

Fasst man die obigen Überlegungen zusammen, dann kommen wir zu dem Schluss, dass eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstor-

ganisation das Ersetzen des Expertentums durch ein System von Kompetenzen ist (Übersicht 12).

Übersicht 12

Bedeutung der Verortung von Kompetenzen für die Entwicklung von Selbstorganisation

Verortung von Kompetenzen	vorausbestimmte Positionen innerhalb einer Organisation	System von Kompetenzen (und Kompetenzstufen)	
Klassifizierungssystem von Kompetenzen	Gruppenmitglied	Wertschöpfungsarbeit	
	Gruppensprecher	Handhabung Neuigkeiten und Störungen	
	Leiharbeitskraft	Prioritätensetzung und Koordination von Aufgaben	
	Meister/Produktionsleiter		Handhabung organisatorischer Voraussetzungen
			Zusammenarbeit und Kommunikation
	Produktionsplanung		Qualitätsarbeit
Handhabung der physischen Umgebungsbedingungen			
Kompetenzlogik	verteilte Verantwortlichkeit	Entwicklung einer Gestalt (einer Gesamtheit) von vorhandenen Kompetenzen	
Voraussetzungen für Selbstorganisation	kein natürlicher Ausgangspunkt für Selbstorganisation vorhanden	Selbstorganisation ist möglich	

Eine mögliche Infrastruktur für die Umsetzung eines solchen „Systems von Kompetenzen“ ist das Critical Event Forum (CEF) als ein Forum für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstorganisation.

Das CEF wurde genutzt, um auf Fragen der Organisation und Zusammenarbeit zu fokussieren und darüber zu reflektieren und weniger auf konkrete technische bzw. Produktionsprobleme. Das CEF hat zu einer anderen Fokussierung der von den Teilnehmern vorgeschlagenen Handlungen geführt. Sollte in weiteren Studien gezeigt werden, dass dieser prägnante Unterschied dem CEF zugeschrieben werden kann, dann stellt sich die Frage, welche aus kompetenztheoretischer Perspektive interessanten Aspekte der CEF diese Veränderung erklären können, nämlich dass die Beteiligten plötzlich ganz andere Handlungsfelder als wichtig erachten. Oder anders gefragt, welche Kompetenzen der Mitarbeiter, die sich sonst nicht bemerkbar gemacht hätten, hat das CEF freigelegt – und wie? Dies unterstützt auch unser Verständnis, dass die Nutzung/Übertragung von individuellen Kompetenzen auf eine kollektive Ebene ein Kennzeichen und eine Voraussetzung der Fähigkeit zur Selbstorganisation ist.

Durch die Festlegung einer solchen organisatorischen Mikroebene, der Beachtung und das Bewusstsein sämtlicher Kompetenzen der daran teilnehmenden Personen und die Ausrichtung auf die gemeinsame Nutzung und Übertragung dieser Kompetenzen auf neue Probleme/Handlungen denken wir, Voraussetzungen für Selbstorganisation schaffen zu können. Die bisherigen positiven Erfahrungen mit dem CEF deuten darauf hin, dass dies eine Methode sein könnte, die bei der Entwicklung von Selbstorganisation in Gruppenarbeit (anstelle von z. B. „Teambuilding“) von großem Nutzen sein kann.

Inspiziert von der Theorie der kognitiven Selbstorganisation (Kruse/Stadler 1995) können wir die Auffassung vertreten, dass die Durchführung von CEF eine Aktivität ist, die sich auf einzelne Menschen oder eine Gruppe bzw. Gruppierung richtet und innersystemische Ordnungsbildung anregt.

Literatur

Baethge, M.: Lebenslanges Lernen und Arbeit: Weiterbildungs-kompetenz und Weiterbildungsverhalten der deutschen Bevölkerung. SOFI-Mitteilungen, Nr. 31. Göttingen 2003

Baethge, M.; Baethge-Kinsky, V.; Holm, R.; Tullius, K.: Anforderungen und Probleme beruflicher und betrieblicher Weiterbildung. Arbeitspapier, Nr. 76. Düsseldorf 2003

Bateman, T. S.; Crant, J. M.: The pro-active component of organizational behaviour: A measure and correlates. *Journal of Organizational Behaviour*, 14, 1993, pp. 103-118

Bandura, A.: Exercise of personal and collective efficacy. In: Bandura, A.: *Self-efficacy in changing societies*. New York 1995, pp. 1-45

Bergmann, B.: Training für den Arbeitsprozess. Entwicklung und Evaluation aufgaben- und zielgruppenspezifischer Trainingsprogramme. Zürich 1999

Bergmann, B.; Fritsch, A.; Göpfert, P.; Richter, F.; Wardanjan, B.; Wilczek, S.: Kompetenzentwicklung und Berufsarbeit. edition QUEM, Band 11. Münster, New York, München, Berlin 2000

Bergmann, B.: Berufliche Kompetenzentwicklung. In: Silbereisen, R. K.; Reitzle, M. (Hrsg.): *Psychologie 2000*. Berlin 2001, S. 530-540

Brusling, C.; Strömquist, G.: *Relektion och praktik i läraryrket*. Lund 1996

Campion, M. A.; Medsker, G. J.; Higgs, A. C.: Relations between Work Group Characteristics and Effectiveness: Implications for Designing Effective Work Groups. In: *Personnel Psychology*, 46, 1993, pp. 823-850

Campion, M. A.; Papper, E. M.; Medsker, G. J.: Relations between Work Team Characteristics and Effectiveness. A Replication and Extension. In: *Personnel Psychology*, 49, 1996, pp. 429-451

Chomsky, N.: *Aspekte der Syntax Theorie*. Frankfurt a. M. 1973

Daudelin, M. W.: Learning from Experience Through Reflection. In: *Organizational dynamics*, 1996, pp. 36-48

Denning, S.: *The springboard – How storytelling ignites action in knowledge-era organizations*. Boston (Mass.) 2001

- Driver, M.: Diversity and learning in groups. In: *The Learning Organization*, 10, 2003, pp. 149-166
- Edmondson, A.: Psychological Safety and Learning Behavior in Work Teams. In: *Administrative Science Quarterly*, 44, 1999, pp. 350-383
- Erpenbeck, J.: Selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Lernen. In: *Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzentwicklung '97*. Münster, New York, München, Berlin 1997, S. 310-316
- Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer. QUEM-report, Heft 62. Berlin 1999 a
- Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Die Kompetenzbiographie: Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation. edition QUEM, Band 10. Münster, New York, München, Berlin 1999 b
- Erpenbeck, J.; v. Rosenstiel, L.: *Handbuch Kompetenzmessung*. Stuttgart 2003
- Fay, D.; Frese, M.: The concept of personal initiative: An overview of validity studies. *Human Performance*, 14, 2001, pp. 97-124
- Frei, F.; Duell, W.; Baitsch, C.: *Arbeit und Kompetenzentwicklung. Theoretische Konzepte zur Psychologie arbeitsimmanenter Qualifizierung*. Bern 1984
- Frese, M.: Dynamic self-reliance: An important concept for work in the twenty-first century. In: Cooper, C. L.; Jackson, S. E. (Eds.): *Creating Tomorrow's Organizations*. Chichester, England 2001, pp. 399-416
- Frese, M.; Fay, D.; Hilburger, T.; Leng, K.; Tag, A.: The concept of personal initiative: Operationalization, reliability and validity in two German samples. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 70, 1997, pp. 139-161
- Frese, M.; Kring, W.; Soose, A.; Zempel, J.: Personal initiative at work: Differences between East and West Germany. *Academy of Management Journal*, 1, 1996, pp. 37-63
- Friedrich, P.; Lantz, A.; Andersson, K.: Mobility – a task and result of life long learning?! IFAU-workshop “Effekter av vuxenlärande”, 17-18 Dezember. Uppsala 2001
- Frieling, E.; Kauffeld, S.; Grote, S.; Bernard, H.: Flexibilität und Kompetenz: Schaffen flexible Unternehmen kompetente und flexible Mitarbeiter? edition QUEM, Band 12. Münster, New York, München, Berlin 2000

- Gersick, C. J. G.; Hackman, J. R.: Habitual routines in task-performing groups. In: Organizational behaviour and human decision processes, 47, 1990, pp. 65-97
- Griffin, R. W. et al.: Objective and social factors as determinants of task perceptions and responses : An integrated perspective and empirical investigation. In: Academy of Management Journal, 30, 1987, pp. 501-523
- Guzzo, R. A.; Dickson, M. W.: Teams in Organizations: Recent Research on Performance and Effectiveness. In: Annual Review Psychology, 47, 1996, pp. 307-338
- Guzzo, R. A.; Shea, G. P.: Group Performance and Intergroup Relations. In: Dunette, M. D.; Hough, L. M. (Eds.): Handbook of Industrial and Organizational Psychology. Palo Alto, CA 1992, pp. 269-313
- Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern 1998
- Kruse, P.; Stadler, M. (Eds.): Ambiguity in Nature and Mind. Multistability in Cognition. Berlin 1995
- Lantz, A.; Brav, A.: Can meaningless work form meaningful group work? Proceedings, 8th International work shop on team working. 16. – 17. September. Trier 2004
- Lantz, A.; Friedrich, P.: ICA – Instrument for Competence Assessment. In: Erpenbeck, J.; v. Rosenstiel, L. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung. Stuttgart 2003, S. 81-96
- Malik, F.: Systemisches Management, Evolution, Selbstorganisation: Grundprobleme, Funktionsmechanismen und Lösungsansätze für komplexe Systeme. Bern, Stuttgart, Wien 1993
- Mandl, H.; Krause, U.-M.: Lernkompetenz für die Wissensgesellschaft. Forschungsbericht, Nr. 145. Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie. Ludwig-Maximilians-Universität München. München 2001
- Mansfield, B.; Mitchell, L.: Towards a Competent Workforce. London 1996
- McGrath, J.: Groups: Interaction and Performance. New Jersey 1964
- Morgan, G.: Images of Organizations. Thousand Oaks 1986
- Nelson, T. O.; Narens, L. : « Metamemory: A theoretical Framework and New Findings”. In: Bower, G. H. (Ed.): The Psychology of Learning and Motivation. New York 1990, pp. 125-173

North, K.; Romhardt, K.; Probst, G.: Wissensgemeinschaften – Keimzellen lebendigen Wissensmanagements. In: IO-Management, 7/8, 2000, S. 52

North, K.; Varlese, N.: Motivieren für die Wissensteilung und die Wissensentwicklung. In: Wissensmanagement, 1, 2001, S. 43-46

North, K.; Friedrich, P.: Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation. Abschlussbericht, ABWF-QUEM, 2002

North, K.; Friedrich, L.; Lantz, A.: Selbstorganisation als Metakompetenz, Abschlussbericht, ABWF-QUEM, 2004

North, K.; Friedrich, L.; Lantz, A.: Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation. In: Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V./Projekt Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzmessung im Unternehmen. edition QUEM, Band 18. Münster, New York, München, Berlin 2005, S. 601-672

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Wiesbaden 2002

Pelled, L. H.; Eisenhardt, K. M.; Xin, K. R.: Exploring the black box: an analysis of work group diversity, conflict and performance. In: Administrative Science Quarterly, 44, 1, 1999, pp. 1-28

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R.: Die grenzenlose Unternehmung. Wiesbaden 1998

Pohlandt, A.; Debitz, U.; Schulze, F.; Richter, P.: A Tool for Human-Centred Job Design. In: Zülch, G.; Stowasser, S.; Jagdev, H. S. (Eds.): Human Aspects in Production Management. Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Human Aspects in Production Management, 1, 5, Aachen 2003, pp.90-98

Probst, G. J. B.: Selbst-Organisation: Ordnungsprozesse in sozialen Systemen aus ganzheitlicher Sicht. Berlin, Hamburg 1987

Reinmann-Rothmeier, G.; Vohle, F.: Was Schiedsrichter, Manager und Rotkäppchen gemeinsam haben: Mit Geschichten Wissen managen. In: Zeitschrift für Organisationsentwicklung, 5, 2001, S. 293-300

Richter, P.: REBA – ein rechnergestütztes Verfahren zur Integration der Bewertung psychischer Belastungen in die gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung. In: Badura, B.; Litsch, M.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeitenreport '99. Psychische Belastungen am Arbeitsplatz. Berlin 2000, S. 212-222

Seibert, K. W.: Reflection-in-Action: Tools for cultivating On-the-Job Learning conditions. In: Organizational dynamics, 27, 3, 1999, pp. 54-65

Shaw, J.; Barrett-Power, E.: A conceptual framework for assessing organization, work group, and individual effectiveness during and after downsizing. In: *Human Relations*, 50, 1997, pp. 109-127

Smith, R. M.: *Learning to Learn. Adult Education*. In: Tuijnman, A. C.: *International encyclopaedia of adult education and training*. Oxford 1996

Sonntag, K.-H.; Schaper, N.: Förderung beruflicher Handlungskompetenz. In: Sonntag, K. (Hrsg.): *Personalentwicklung in Organisationen*. Göttingen 1999, S. 211-244

Tannenbaum, S. I.; Beard, R. L.; Salas, E.: Team building and its influence on team effectiveness: An examination of conceptual and empirical developments. In: *Issues, Theory, and Research in Industrial/Organizational Psychology*, 1992, pp. 117-153

Volpert, W.; Österreich, R.; Gablenz-Kolokovic, T.; Resch, M.: *Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit (VERA)*. Handbuch und Manual. Köln 1983

Wenger, E.: *Communities of Practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge 1998

Wenger, E.; Snyder, W.: *Communities of Practice: The organizational frontier*. In: *Harvard Business Review*, January-February, 2000, pp. 139-145

Weinert, F. E.: Selbstgestütztes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. In: *Unterrichtswissenschaft*, 10, 1982, S. 99-110

Weinert, F. E.: *Concepts of Competence. Contribution with the OECD project Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations (DeSeCo)*. München 1999

West, M. A.; Hirst, G.; Shipton, H.: Twelve steps to heaven: Successfully managing change through developing innovative teams. In: *European work and organizational psychology*, 13,2, 2004, pp. 269-299

Willke, H.: *Systemisches Wissensmanagement*. Stuttgart 1998

Wrzesniewski, A.; Dutton, J. E.: Crafting a job: Revisioning employees s active crafters of their work. In: *Academy of Management Review*, 26, 2, 2001, pp. 179-201